

La congestion du boulevard périphérique parisien :

Estimations, évolution 2000-2007, discussions

Martin Koning¹² – *Centre d'Economie de la Sorbonne (MATISSE³)*

Document de travail – décembre 2008

Résumé :

Cet article se propose d'étudier le coût économique engendré par la congestion du boulevard périphérique parisien (BPP). Nous mobilisons pour cela un modèle basé sur une relation vitesse-densité, ce qui nous permet de différencier les coûts d'utilisation et de congestion du BPP selon des classes de vitesse de 5 km/h. Nous profitons d'une importante base de données sur le trafic du BPP pour mener ce travail à une triple échelle : le BPP dans son ensemble, selon la dimension temporelle et géographique. Le coût économique lié à la sur-utilisation du BPP se chiffre à 160 M€ pour 2007. Les pertes de temps ont augmenté de 10 % depuis 2000 (145 M€), à cause de la baisse des vitesses de circulation (-5 %) mais également de la croissance du coût d'opportunité du temps (+ 8 %). Nous profitons de cet article pour discuter les différentes modélisations de la congestion proposées par les sciences économiques. Nous terminons ce travail en proposant une grille de tarification applicable avec l'introduction d'un éventuel péage urbain sur le BPP.

¹ martinkoning@hotmail.fr

² Les propos avancés dans ce travail n'engagent que l'auteur, l'Université Paris 1 ne saurait en être tenue pour responsable. Nous tenons par ailleurs à remercier Mme et MM. Vornetti, Prud'homme, Kopp, Orfeuil et Leurent pour les remarques et commentaires prodigués aux différents états d'avancement du travail. Il en est de même des agents de la Section Tunnel, Berges et Périphérique (Division de la Voierie et des Déplacements de la Mairie de Paris) qui nous ont offert l'accès aux données et nous ont permis de mieux comprendre le support empirique.

³ Laboratoire MATISSE, UMR 8174, Maison des Sciences Économiques, 106-112, boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris.

1 – Introduction

Nombreux sont les professeurs d'économie publique à citer la congestion routière comme exemple d'externalité négative. Elle caractérise une situation telle que la décision d'un agent (un automobiliste consommant de l'espace sur un axe routier à capacité limitée) a un impact direct sur le bien-être d'un autre agent (un autre automobiliste circulant sur ce même axe et voyant son espace disponible diminuer). Dans de telles circonstances, les équilibres atteints sont sous-optimaux ; c'est-à-dire qu'il est possible de trouver d'autres configurations telles que le bien-être social soit supérieur. Cette perte sèche provient de l'incomplétude du « *marché des déplacements* ». Lors de leurs calculs relatifs aux décisions de déplacement, les automobilistes ne prennent en effet compte que de leurs uniques coûts privés. Ce faisant, ils oublient les pertes que leurs décisions individuelles font subir aux autres automobilistes : ils occultent le coût social⁴. Depuis que le temps est considéré par les économistes comme une consommation intermédiaire permettant de produire des biens et/ou de l'utilité (Becker 1965), il constitue l'essentiel du surcoût lié à la congestion routière. L'excès de véhicules sur une infrastructure à capacité limitée réduit en effet la vitesse de tous et rallonge le temps nécessaire à l'activité transport.

Cette vision normative que porte la science économique sur les décisions de déplacement se prolonge par certaines considérations plus objectives⁵. La congestion routière et la réduction des vitesses peuvent ainsi balancer les avantages issus de la concentration urbaine (« *sharing/matching/learning* » ; Duranton Puga 2004, Thisse Lafourcade 2008). Ils influent également sur la forme prise par la structure urbaine. L'évolution conjointe des coûts d'opportunité du temps et des déplacements va guider les choix de localisation des entreprises et des ménages, pouvant faire éclater le noyau monocentrique d'une ville en une structure éparse et polycentrique (Anas et al. 1998, Glaeser 2008). La congestion routière est devenue le symbole du combat à mener en faveur du développement durable (Sommet de Rio 1992) et contre le réchauffement climatique (Kyoto 1998). La baisse des vitesses de circulation urbaine entraîne en effet, et ce malgré les efforts et les réussites des constructeurs automobiles, une hausse des émissions polluantes. D'un point de vue social, la congestion routière nuit à la cohésion d'un territoire en renforçant les disparités en termes d'accessibilité (Wenglenski 2002), creuse les écarts entre les composantes d'une ville (Donzelot 2004). Elle peut enfin engendrer un fort coût psychologique qui dégrade le bonheur individuel (Layard 2007, Newberry Santos 2002). On comprend alors facilement que, pour ces diverses raisons, se sont multipliées depuis plus de dix ans les réflexions institutionnelles sur le sujet (UE 2007, CEMT-OCDE 2007).

⁴ Le coût social est la somme du coût privé et de l'effet externe.

⁵ Bien qu'elles mêmes élaborées à l'aide de concepts normatifs.

Cet article se propose de décrire l'évolution du coût économique lié à la congestion d'une des principales infrastructures de transport franciliennes, le Boulevard Périphérique Parisien (BPP)⁶. Créé avec le Schéma Directeur de la Région Ile-de-France (SDRIF) de 1965 et pensé à une époque où la puissance publique voyait en l'automobile un mode de transport participant à accroître la liberté individuelle⁷, le BPP constitue aujourd'hui la plaque tournante d'un réseau routier isotrope⁸. L'importance du territoire fonctionnel francilien (12% de la population nationale, 29% du Produit Intérieur Brut), « *la dépendance à l'égard de l'automobile* » dont sont victimes les français (Dupuy 2006) ou bien les modifications de la géographie des résidences et des emplois (Gilli 2005) exercent néanmoins de fortes tensions sur son usage. Selon les données de la Gendarmerie Nationale⁹, le BPP et Paris accueillait environ 29 % des encombrements routiers constatés à l'échelle de la France pour l'année 2000. La question du coût économique de sa congestion est donc centrale pour que puisse se mener une réflexion « *laïque* » à son propos (Orfeuill 2008), réflexion pouvant éventuellement déboucher sur une application pratique du type péage urbain (Conseil d'Analyse Stratégique 2008, CEMT-OCDE 2007).

Par ailleurs, l'étude de l'utilisation du BPP ne saurait être traitée indépendamment de celle de la circulation automobile dans Paris intra-muros. Depuis 2001 est menée une politique de lutte contre l'automobile cherchant à répondre aux préoccupations socio-écologiques de ses habitants. Cette politique s'appuie sur la restriction de l'espace viaire disponible pour les automobiles (« *régulation par les quantités* », Crozet 2007), une politique tarifaire de stationnement désavantageuse pour les non-résidents et des investissements dans les transports en communs. Ces trois modes d'action conjugués doivent décourager les automobilistes et les inciter au report modal. Si la circulation automobile a bien chuté, on ne peut pour autant parler d'un succès univoque. Le recul du trafic s'est en effet accompagné d'une baisse des vitesses de circulation et de pertes de temps largement accrues pour les automobilistes (Prud'homme et al. 2005, Orfeuill 2008). La congestion ayant augmenté *dans* Paris, il est donc légitime de s'intéresser à son évolution *autour* de la capitale.

L'article est organisé comme suit. Dans la section 2 nous présentons le cadre méthodologique retenu. Nous reprenons un modèle de congestion initialement élaboré et testé pour le BPP par Prud'homme et Sun (2000). Ce modèle repose sur l'usage d'une courbe vitesse-densité et possède la spécificité de différencier les fonctions de demande et de coûts de transport selon les vitesses de circulation. Cette hypothèse permet de distinguer plusieurs coûts de congestion, au contrario des approches ne considérant qu'un unique coût moyen (INFRAS 2000). Dans la section 3 nous présentons les données fournies par la Division de la Voierie et des Déplacements de la Mairie de Paris (Section Tunnels,

⁶ Voir carte en Annexe.

⁷ Et/ou un moyen de se désengager des affaires quotidiennes des individus, laissant de plus en plus aux initiatives privées et à la « franchisation des villes » (Mangin 2004).

⁸ Que ce soit à l'échelle nationale ou européenne.

⁹ Reprises par l'Union Routière Française (2007).

Berges et Périphérique) et les confrontons au modèle. Nous estimons alors le coût économique de la congestion du BPP pour 2000 et 2007. Nous discutons ensuite ces résultats et apportons des explications quant aux évolutions enregistrées. La section 4 traite des possibilités qu'offre le modèle. L'étude a été menée à une triple échelle : le BPP considéré dans son ensemble, en fonction des périodes journalières (heures de « *pointe/creuses* ») et selon ses diverses zones géographiques. Cette désagrégation¹⁰ nous permet de tester la sensibilité du cadre conceptuel au niveau d'analyse. La section 5 récapitule les apports de ce travail et offre une grille de tarification applicable avec l'introduction d'un péage urbain sur le BPP.

2 – Modélisation de la congestion routière

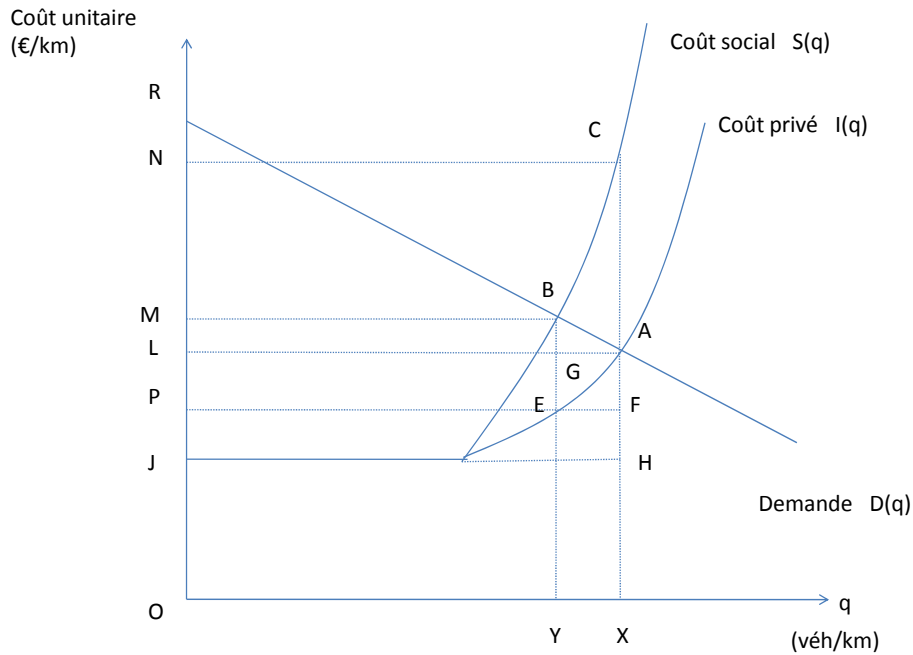
Comme dans la plupart des travaux sur les externalités, Prud'homme et Sun (2000) centrent leur réflexion sur la divergence entre situations effective et optimale. Pour bien expliciter cette idée, nous menons tout d'abord une analyse graphique puis présentons les équations utilisées dans notre modèle vitesse-densité. Nous terminons cette section par une brève discussion sur les méthodologies disponibles pour estimer les coûts économiques liés à la congestion routière.

2.1 - Analyse graphique

L'analyse graphique développée ci-dessous sert de support aux calculs. La figure 1 représente le « *marché des déplacements* ». En abscisse se trouve la quantité d'utilisation de la route (représentée ici par la densité, véh/km), en ordonnée son coût d'utilisation (€/km) :

¹⁰ Prud'homme qualifie son approche méthodologique de « *désagrégée* ». Pour éviter de troubler le lecteur sur la signification de ce terme ainsi que sur l'usage qui en est ici fait, nous avons pris le parti de nous en servir uniquement par référence à la distinction géographique et temporelle.

Figure 1 – Représentation graphique de la congestion



L'équilibre s'établit à l'intersection de la droite de demande ($D(q)$) et de la courbe de coût privé ($I(q)$). Il y a alors X utilisateurs sur la route, chacun devant supporter un coût L. Nous avons pourtant dit que cet équilibre était sous-optimal et s'accompagnait de congestion. L'utilisation de la route qui maximiserait le bien-être collectif des automobilistes se trouve en effet à l'intersection de la droite de demande avec la courbe de coût social ($S(q)$). A ce niveau correspondent une quantité d'utilisation Y et un coût M. Il y a donc une quantité XY d'automobilistes « en trop ». Selon cette vision, la voirie est considérée comme un bien public à qualité de service variable (le temps nécessaire au parcours via la vitesse).

Dès que l'on dépasse Y, l'arrivée d'un véhicule (marginal) engendre un coût social supérieur au bénéfice social additionnel. Nous pouvons donc définir l'externalité négative de congestion comme le coût supporté par la société lorsque l'utilisation de la route est X plutôt que Y. Ce coût peut se calculer au travers de la variation des surplus associés à chacune des situations ($PRBE - LRA = LGEP - BGA$) ou bien en estimant directement le triangle représentant la perte sèche liée à la congestion routière ($=CBA$) (Quinet Vickerman 2004, Didier Prud'homme 2007).

Quelles autres informations pouvons-nous tirer de cette analyse graphique ? La première est que l'utilisation naturelle de la route est toujours plus grande que l'utilisation optimale : X est plus grand

que Y^{11} . En second lieu, cette analyse porte sur une infrastructure routière donnée. Toute amélioration des capacités d'accueil de la route se traduit par un déplacement vers la droite des courbes $I(q)$ et $S(q)$, une baisse des coûts d'utilisation et donc une augmentation des quantités effectives et optimales. Enfin, la quantité optimale est fonction de la demande de route. Si cette dernière augmente, $D(q)$ se translate vers la droite et avec elle la quantité optimale¹². Selon Prud'homme et Sun (2000), « *cette dernière observation souligne la différence entre l'approche de l'ingénieur et celle de l'économiste : l'ingénieur définit l'utilisation optimale de la route en fonction des seules caractéristiques de la route, cependant que l'économiste se réfère à la fois aux caractéristiques de la route et à la demande d'utilisation de la route* ».

2.2 - Les fonctions du modèle

Pour estimer le coût économique de la congestion du BPP, il faut donner une forme aux fonctions de demande, de coûts privé et social. Les travaux de l'école des « *choix rationnels* » ont généralisé la vision du temps comme consommation intermédiaire nécessaire à la réalisation des différentes activités humaines. A l'instar des autres dotations factorielles limitées (capital, travail), le temps fait l'objet d'un arbitrage entre ses usages alternatifs. Suivant cette idée, la théorie économique retient comme coût d'opportunité du temps (de déplacement) l'équivalent salarial « *sacrifié* ».

La fonction de demande de route est une fonction inverse du coût d'utilisation de cette route. Plus est importante la fréquentation routière (mesurée par la densité) et plus lentement doivent rouler les véhicules. Le déplacement et l'activité transport sont par conséquent plus coûteux en temps et moins demandés. Nous reprenons une fonction de demande linéaire dont la pente se déduit de l'élasticité prix-demande d'utilisation de la route. En considérant une élasticité (ε) nous avons :

$$D(q) = b + a \cdot q \quad (1)$$

avec : b =coût fixe si la route était vide et $a=p/(\varepsilon \cdot q)$ en un point (q,p) ¹³

La fonction de demande est centrale dans l'approche que nous mobilisons. Sa différenciation selon des classes de vitesse de 5 km/h implique des coûts de congestion également différenciés.

¹¹ Cette affirmation est valable uniquement si la droite de demande coupe la courbe de coût en dehors de sa partie horizontale ; dans le cas contraire coûts privés et sociaux sont égaux.

¹² On retrouve le même phénomène si la pente de la droite diminue, mais ce genre de changement s'opère plus à moyen/long termes car la pente représente les paramètres de préférence des individus.

¹³ Par calcul $(\Delta p / \Delta q) = a$. Or $\varepsilon = (\Delta q / \Delta p) / (q/p)$, on en déduit $a = p / (\varepsilon \cdot q)$, puis b .

La fonction de coût privé -celle considérée par les automobilistes - est composée d'un coût fixe d'utilisation (I_0 ; essence, amortissement du véhicule, assurance) et du coût d'opportunité du temps, principale composante du coût généralisé. Ce coût d'opportunité est représenté par le salaire horaire moyen (w) et varie à l'inverse de la vitesse de circulation (s) :

$$I(q) = I_0 + w/s \quad (2)$$

La fonction de coût social-celle que devraient considérer les automobilistes afin de maximiser le bien-être collectif- s'obtient en majorant le coût privé de sa dérivée multipliée par les quantités :

$$S(q) = I(q) + I'(q)*q \quad (3)$$

Le coût social est supérieur au coût privé dès lors que $I'(q)$ est positif. On retrouve là l'idée selon laquelle la quantité d'utilisation optimale doit nécessairement être inférieure à celle effective.

Cette divergence s'explique et se forme au travers des vitesses de circulation. En effet, lorsque quantités optimales et effectives diffèrent, les automobilistes « *en trop* » font baisser la vitesse de circulation par rapport à celle qui prévaudrait à l'optimum. Il faut donc pouvoir associer à chaque classe de vitesse effective les quantités d'utilisation et les vitesses optimales correspondantes. Nous allons pour cela nous aider de la relation vitesse-densité.

La relation vitesse-densité ($s(q)$) représente la capacité physique d'accueil du BPP dans la mesure où elle décrit les couples vitesse-densité qu'autorise l'infrastructure routière. Elle permet de faire le lien entre les fonctions de coût et la vitesse des déplacements. Il est possible d'interpréter cette relation à partir de la distance séparant deux véhicules circulant à une certaine vitesse¹⁴. Pour la décrire, nous retenons une spécification linéaire classique et adaptée au modèle :

$$s(q) = s_0 - d*q \quad (4)$$

avec : s_0 = vitesse si la route est vide

C'est grâce à cette relation technologique que nous pouvons différencier les coûts d'utilisation de la route selon les classes de vitesse de 5 km/h. En supposant une élasticité constante, nous déduisons *ad hoc* les fonctions de demande¹⁵ et les égalisons à celles de coût social, ce qui nous donne la quantité optimale. Il faut ensuite trouver les gaps entre quantités effective et optimale en repassant par la

¹⁴ Cette distance dépend des exigences de sécurité des automobilistes notamment.

¹⁵ A l'aide de l'observation des quantités et coûts effectifs.

relation vitesse-densité. La perte totale liée à la congestion s'obtient en calculant et sommant les variations de surplus (=LGEP-BGA=BCA) associées à chacune des classes de vitesse¹⁶.

Les coûts ainsi trouvés sont des coûts kilométriques (€/km) : ils représentent le coût social généré par X véhicules roulant sur un kilomètre du BPP à la vitesse indiquée par la relation technique. Il convient de les transformer en des coûts exploitables. Il suffit pour cela de les diviser par la densité X (véh/km). On a alors des coûts qu'on nommera « unitaires » (€/véh)¹⁷. On y applique ensuite les véh*km¹⁸ parcourus dans chacune des classes de vitesse, pour 2000 et 2007.

Valeurs tutélaires et structure du trafic – Les fonctions présentées reposent sur l'usage de valeurs tutélaires. Leur choix est primordial car elles influent directement sur les résultats des estimations (Chevasson 2007). Les valeurs tutélaires proviennent pour cette raison le plus souvent de rapports officiels élaborés de la puissance publique « *bienveillante et informée* ». En France, le « rapport Boiteux » (2001, 2004) est le document de référence concernant le calcul économique appliqué au domaine des transports.

Nous y avons emprunté les valeurs tutélaires relatives au coût d'opportunité du temps (w). Pour la région parisienne, la valeur moyenne¹⁹ par voyageur d'un déplacement automobile en milieu urbain est fixée à 9,3 €/h en 2000. « *Cette valeur du temps évolue d'une année à l'autre en fonction de la dépense de consommation des ménages par tête, en monnaie constante, avec une élasticité de 0,7* » (Instruction-cadre 2004). En retenant un taux de croissance de la consommation de 2% par an, on obtient un coût d'opportunité du temps égal à 10,1 €/h pour 2007. Cette valeur du temps est pour un voyageur. Il faut donc appliquer le taux d'occupation d'un véhicule ($\tau = 1,3$)²⁰ au nombre de véh*km.

L'usage d'une valeur du temps moyenne oublie toutefois le motif des déplacements. Nous avons expliqué que le BPP était un élément central du réseau de transport d'une des plus riches régions européennes. 20 % de sa circulation est le fait de transports de marchandises. Le « rapport Boiteux » préconise alors de prendre une valeur du temps de 31,4 €/h et de ne pas l'indexer au fil des années²¹. On peut alors trouver les bons coefficients qu'il faut appliquer au coût calculé à partir des véh*km²².

¹⁶ Dans la pratique, les différentes étapes du calcul reviennent à calculer les points de la figure (voir Annexe).

¹⁷ (€/km)/(véh/km)= (€/véh).

¹⁸ Les véh*km sont une unité de compte reflétant bien l'utilité sociale des déplacements. Ne considérer que les kilomètres parcourus sur le BPP reviendrait à oublier le nombre de personnes qui prennent part à l'activité transport. Inversement, en ne prenant en compte que le nombre de voyageurs, on occulterait la longueur des déplacements. Les véh*km apparaissent ainsi comme un bon compromis : 3 véhicules roulant chacun 3 kilomètres donnent 9 véh*km.

¹⁹ Lorsqu'on ne dispose pas du motif du déplacement.

²⁰ Dires d'experts.

²¹ Cela « *revient à considérer que des gains de productivité compenseront les augmentations de charges dues à un meilleur respect des réglementations routières et sociales* » (Instruction-cadre 2004).

²² Pour 2000 : $(20*31,4+1,3*80*9,3)/(100*1,3*9,3) = 1,319$.

Nous avons pris le parti de maintenir le coût fixe d'utilisation du véhicule (I_0) constant entre les deux dates. Il s'élève à 0,12 €/véh*km pour 2000 et 2007. Ce choix peut se justifier par le fait que nous nous intéressons dans ce travail aux uniques pertes de temps causées par la sur-utilisation de l'infrastructure routière. Le coût fixe d'utilisation n'apparaît qu'indirectement dans la fonction de coût social²³. Il est également probable que les véhicules sont aujourd'hui plus économes en moyenne qu'ils ne l'étaient en 2000²⁴.

Nous avons enfin besoin d'une élasticité (ϵ) pour déterminer les différentes droites de demande. Nous reprenons une élasticité-demande égale à -0,8 (lorsque le prix augmente de 1%, la demande baisse de -0,8%) assez usuelle dans la littérature (Goodwin 1992). Nous menons dans la section 4 divers tests de sensibilité. L'un d'eux porte sur cette élasticité que nous faisons varier selon les périodes de la journée (heures de « *pointes/creuses* »).

2.3 – Discussion sur le cadre méthodologique

Nous allons maintenant brièvement présenter quelques méthodologies utilisées en économie des transports pour modéliser la congestion routière. Avoir la connaissance de tels faits doit nous aider à mieux comprendre ce que peut étudier notre modèle, ce qu'il ne peut pas.

Les modèles basés sur l'usage d'une relation vitesse-densité (ou vitesse-débit²⁵) constituent une première famille. Bien qu'ils reprennent pour la plupart un cadre méthodologique similaire à celui que nous venons de décrire, les différentes définitions de la congestion ainsi que le caractère plus ou moins agrégé de l'analyse peuvent conduire à des résultats très variables.

Une première vision de la congestion peut être qualifiée de « *naïve* » (Prud'homme Sun 2000) : elle consiste à calculer le coût de la congestion en comparant la situation effective (mesurée par le nombre d'heures « *consommées* » dans les transports) à la situation qui aurait prévalu en cas de « *route vide* ». Sur la figure 1, cette perte serait représentée par la surface XOAH. On comprend toutefois qu'une telle vision des choses revient à nier l'utilité sociale des infrastructures routières²⁶. Parce que les routes ne sont pas construites pour être vides et inutilisées, les estimations reposant sur ce postulat surestiment le coût de la congestion routière.

Pour 2007 : $(20*31,4+80*1,3*10,1)/(100*1,3*10,1)= 1,278$.

²³ En effet, n'étant pas fonction de la densité, I_0 ne rentre pas dans le calcul de $I'(q)$.

²⁴ A cette justification s'oppose le fait que le parc automobile français se renouvelle assez lentement.

²⁵ La densité se trouve en divisant le débit par la vitesse.

²⁶ Et par là même les fonds publics les finançant.

Une autre vision peut être qualifiée d' « *internalisante* ». Elle consiste à considérer que le coût de la congestion est égal au montant de la taxe qui conduirait à l'optimum. Bien que ce raisonnement considère la bonne cible (atteindre la quantité optimale), il revient toutefois à « *confondre le moyen (la taxe internalisante) avec la fin (l'internalisation du coût externe)* » (Prud'homme Sun 2000). Pour que cette vision soit juste il faudrait que les surfaces PEMB et BCA soient égales (section 5.2).

Le modèle vitesse-densité le plus utilisé repose sur une courbe de coût et une fonction de demande moyennes (INFRAS 2000). Ce type de modélisation retient une définition de l'effet externe similaire à celle qui est la nôtre dans cet article. Toutefois, ces travaux pèchent par leur excessif niveau d'agrégation. En postulant un coût moyen de congestion et une demande moyenne de la part des automobilistes, ils occultent le caractère régressif de la congestion. L'automobiliste marginal est en effet d'autant plus coûteux pour la société que les conditions de circulation sont déjà saturées. La baisse des vitesses et la perte de temps que son arrivée engendre seront nécessairement supérieures à celles qui prévaudraient si son insertion sur l'axe routier coïncidait avec un régime fluide. On oublie donc cet effet de structure dès lors que l'on utilise des fonctions moyennes. Malgré ces lacunes, ces modèles sont bien souvent ceux utilisés par les organes institutionnels. Ils ont notamment conduit l'Union Européenne dans son « Livre Vert sur les transports urbains » (2007) à avancer que les coûts économiques issus de la congestion routière représentaient une perte de l'ordre de 1 % du PIB national²⁷. Avec un PIB d'environ 1 800 Milliards € en 2007, cette perte s'élèverait à 18 Milliards € pour la France.

Les modèles de goulot d'étranglement, initiés par le travail fondateur de Vickrey (1969), se sont développés plus récemment (Arnott et al. 1990, Leurent 2005). Ils tentent de dépasser les faiblesses des méthodologies basées sur la relation vitesse-densité. La principale critique adressée est la non prise en compte de l'endogénéité de la durée de la congestion. Lorsque de nombreux automobilistes veulent se rendre à un endroit donné au même moment, ils se retrouvent confrontés à une contrainte de capacité (goulot d'étranglement). « *Les modèles habituels, en supposant que les heures de départ des usagers sont des données exogènes nient la possibilité d'adapter l'étalement des départs en fonction de l'évolution des trafics* » (Berthier 1998)²⁸.

Avec les modèles de goulot d'étranglement, l'offre s'adapte à la demande non pas avec une réduction des vitesses, mais avec un décalage des horaires d'arrivée ou de départ (une autre facette de la qualité du service). Il y a alors un étalement de la durée de la « *pointe* ». Ce modèle dynamique de congestion « *repose sur deux principes physiques (contraintes d'arrivée et de capacité) et un principe*

²⁷ L'étude de l'INFRAS (2000) stipule que le coût unitaire moyen de congestion est de 3,10 €/véh*km (2,70 €/véh*km en cas de circulation dense).

²⁸ Une autre critique adressée aux modèles vitesse-densité porte sur la non prise en compte de la demande induite par l'amélioration des conditions de circulation. Cela revient à surestimer la décongestion et sous-évaluer les gains de surplus des nouveaux entrants.

économique (minimisation du temps de traversée) »²⁹ (Leurent 2005). L'équilibre s'établit selon une stratégie à la Nash : les usagers (supposés homogènes) déterminent leurs horaires de départ de telle sorte à ce que leurs coûts généralisés³⁰ s'égalisent et qu'ils n'aient alors plus aucun intérêt à modifier leurs stratégies.

Cette vision dynamique étudie donc un ajustement d'une toute autre nature : elle cherche avant tout à modéliser la manière dont les automobilistes adaptent leurs comportements lorsqu'ils sont confrontés à une contrainte de capacité prévisible³¹. Surtout, les modèles issus de ce cadre permettent de cibler le coût de cet ajustement. « *Le coût global lié à l'attente dans la queue représente la moitié du coût total, indépendamment des valeurs du temps de queue, d'avance ou de retard et surtout du nombre d'usagers* » (Berthier 1998).

Bien qu'il reste dans un cadre d'équilibre partiel, le modèle utilisé dans ce travail corrige certaines des lacunes reprochées à la famille vitesse-densité. Il relève certes d'une conception statique de la congestion et ne s'intéresse pas à l'évolution dans le temps des comportements de circulation. Mais la différenciation des véh*km parcourus, et surtout des coûts de congestion, selon les classes de vitesse revient à considérer en partie les gênes occasionnées lors des périodes de « *pointe* ». Les véh*km parcourus n'ont en effet pas tous le même poids selon les vitesses auxquelles ils sont parcourus.

Nous sommes conscients que le modèle retenu nous permet de faire une photographie que de l'unique BPP. Un travail plus complet devrait considérer ce qui se passe sur les bretelles d'insertion du BPP (également à capacité d'accueil limitée) et s'inspirer des modèles du type goulot d'étranglement pour cerner les pertes de temps qu'y subissent les automobilistes. L'estimation présentée par la suite oublie donc une partie du « *vrai* » coût de congestion lié à l'usage du BPP. Elle nous semble toutefois plus correcte que certaines.

3 – Confrontation des données au modèle

Nous menons tout d'abord une description des données avec lesquelles nous travaillons puis nous les confrontons au modèle pour 2000 et 2007. Nous discutons ensuite les coûts sociaux de congestion

²⁹ Leurent (2005) définit respectivement les contraintes d'arrivée (1), de capacité (2) et de minimisation du temps de traversée (3) par : 1) le fait que le volume sortant soit limité par le volume entrant plus un décalage temporel causé par le temps de traversée, 2) le fait que le volume sortant soit contraint par la capacité d'accueil de l'infrastructure et (3) le fait que le volume s'écoule aussi vite que possible.

³⁰ Ce coût généralisé comprend la valorisation du temps passé dans la queue ainsi que celle du temps d'avance ou de retard par rapport à l'objectif d'heure d'arrivée.

³¹ Cette nature des encombrements est nécessaire à la réalisation de la stratégie de Nash.

ainsi obtenus et justifions certaines tendances. Pour ce faire seront mobilisés différents types d'arguments (internes/externes au modèle).

3.1 – Description des données et de la relation vitesse-densité

La base de données a été fournie par la Division de la Voierie et des Déplacements de la Mairie de Paris (Section Tunnels, Berges et Périphérique). Le calcul du coût social de congestion nécessite deux types d'observations : le nombre de véh*km parcourus par classe de vitesse de 5 km/h (en nombre relatif et absolu) et une relation vitesse-densité.

La base rapporte, pour toutes les sous-sections du 500 mètres du BPP et toutes les périodes de 6 minutes d'une journée, les flux horaires (véh/h), les taux d'occupation de la route (%) et la vitesse (km/h) enregistrés par un système de capteurs placés sous la chaussée du BPP. Ces observations sont exprimées en tronçon-période (0.5 km/6 min)³². La compilation de telles données pour une année pleine étant lourde³³, nous avons constitué un échantillon à partir des mardis et des jeudis des mois de juin et d'octobre. Ces journées et ces mois ont été retenus car ils correspondent plus ou moins à des utilisations normales du BPP (Bilan des Déplacements 2001, 2007).

Par ailleurs, la Division de la Voierie de la Mairie de Paris nous a fourni les Indicateurs Généraux relatifs à la circulation sur le BPP en 2000 et en 2007. Comme nous l'expliquons en Annexe, les chiffres auxquels nous aboutissons en ré-agrégeant la base diffèrent quelque peu de ces Indicateurs Généraux. La raison de cette divergence est à chercher du côté du travail de correction mené sur la base de données mais aussi de la nature des journées étudiées. Nous travaillons en effet avec des journées ouvrables que nous extrapolons à l'ensemble d'une année³⁴. De nombreuses séries ont été également écartées pour cause de défaillance informationnelle. Il se peut donc que nos chiffres soient légèrement surestimés, ou représentent tout du moins l'utilisation du BPP en semaine (lorsque la congestion est plus présente et problématique)³⁵.

Nous avons réalisé tous les calculs en considérant les deux scénarios. Par souci de présentation et de cohérence statistique, les résultats que nous décrirons et discuterons ne porteront néanmoins que sur ceux associés à « nos » chiffres ré-agrégés. Le tableau 1 indique la fréquentation et la vitesse moyenne de circulation enregistrées sur le BPP en 2000 et 2007 :

³² Ces données nous sont également fournies pour les deux sens de circulation (périphérique intérieur/extérieur). Par souci de clarté, nous ne présenterons que les chiffres agrégeant les deux sens de circulation.

³³ Pour une unique journée, nous avons déjà $70 \times 2 \times 240 = 33600$ observations tronçon-période.

³⁴ Les Indicateurs Généraux sont quant à eux issus des 365 jours composant une année.

³⁵ Il en sera de même des estimations du coût social de congestion présentées plus loin.

Tableau 1 – Fréquentation et Vitesses sur le BPP en 2000 et 2007

	2000	2007	Δ
Indicateurs Généraux			
<i>Trafic quotidien (M véh*km)</i>	7,609	7,066	-7,13%
<i>Trafic annuel (M véh*km)</i>	2 777	2 579	-7,13%
<i>Vitesse moyenne (km/h)</i>	51,2	46	-10,15%
Données ré-agrégées			
<i>Trafic quotidien (M véh*km)</i>	7,830	7,660	-2,17%
<i>Trafic annuel (M véh*km)</i>	2 858	2 796	-2,17%
<i>Vitesse moyenne (km/h)</i>	45,9	43,5	-5,23%

La lecture du tableau 1 amène deux grandes conclusions. La première est largement positive si l'on retient l'objectif politique de réduction de la circulation automobile (Plan des Déplacements de Paris 2007). Celle-ci a en effet reculé sur le BPP entre 2000 et 2007. L'ampleur de cette baisse diffère certes selon les données considérées (-7% ou -2%) mais la tendance est univoque : le BPP compte moins de véh*km en 2007 qu'en 2000³⁶. Les Franciliens semblent donc se passer de plus en plus de leurs véhicules automobiles et du BPP comme infrastructure de transport, conclusion on ne peut plus encourageante dans l'optique du développement durable et de la lutte contre le réchauffement climatique. Ce constat suit par ailleurs la baisse de la circulation constatée dans Paris intra-muros (Bilan des Déplacements 2007).

La seconde tendance que révèle le tableau 1 est plus contre-intuitive : la vitesse de circulation sur le BPP a baissé entre 2000 et 2007. Contre-intuitive car on serait tenté de penser qu'à une circulation moindre correspond une qualité de service accrue. Dans le cas présent le recul des vitesses est pourtant bien réel. Surtout, il est d'une ampleur supérieure à celui de la circulation (- 5 %). Cette deuxième conclusion est d'autant plus gênante que la vitesse des déplacements est généralement considérée comme un atout productif majeur pour une agglomération (Cervero 2001, Prud'homme Lee 1999). Sachant que la vitesse des déplacements a également baissé dans Paris, l'évolution 2000/2007 des conditions de circulation sur le BPP semble donc contrastée et mérite réflexion.

Si la circulation a bien reculé, il faut néanmoins relativiser la désaffection des usagers et la moindre importance de l'infrastructure routière. Il est possible de calculer à partir des données de l'Enquête

³⁶ Ces chiffres et les tendances dévoilées sont toutefois cohérents avec ceux présentés dans les Bilans des Déplacements (2001, 2007) qui portent également sur des journées ouvrables.

Globale des Transports (EGT, 2002)³⁷ que le BPP écoulait en 2000 plus 6 % des déplacements motorisés quotidiennement réalisés en Ile-de-France³⁸. En considérant un parcours moyen de 8 km, cela chiffrerait la fréquentation journalière à plus de 900 000 véhicules pour 2000, justifiant ainsi le statut de « première autoroute de France et d'Europe » alloué au BPP. Certains auteurs soulignent l'importance que revêt aujourd'hui la prise en considération des coûts de transport des *individus* dans les modèles d'économie spatiale (Glaeser Kahn 2003, Brueckner 2000). Notre travail s'inscrit (en partie) dans ce cadre, car étudiant l'évolution du coût généré par la congestion d'une infrastructure de transport aussi centrale qu'est le BPP.

Il reste à présenter la relation vitesse-densité obtenue à partir de la base de données³⁹. Cette relation technologique est centrale dans notre modélisation car reliant les différentes fonctions de coût et de demande à la vitesse des déplacements. Pour le BPP, elle prend la forme suivante :

$$s(q) = 90.285 - 0.253*q \quad (4')$$

(0.0710) (0.0005) R2 = 0.75

D'après cette relation, le BPP autorise une vitesse des déplacements légèrement supérieure à 90 km/h lorsque celui-ci est « vide » (q=0). Précisons que la vitesse maximale réglementaire y est de 80 km/h.

Il est maintenant possible de réécrire les fonctions de coût privé et social pour 2000 et 2007 :

2000	2007
$I(q) = 0.12 + 9.3 / (90.285 - 0.253*q)$	$I(q) = 0.12 + 10.1 / (90.285 - 0.253*q)$
$S(q) = I(q) + 2.353*q / (90.285 - 0.253*q)^2$	$S(q) = I(q) + 2.555*q / (90.285 - 0.253*q)^2$

3.2 – Estimations des coûts sociaux de congestion pour 2000 et 2007

La première étape du calcul consiste à trouver les gaps entre quantités effectives et optimales d'utilisation pour chacune des classes de vitesse de 5 km/h. Nous y parvenons en égalisant les fonctions de demande trouvées *ad hoc* avec celles de coût social. Le tableau 2 présente ces résultats :

³⁷ L'EGT (2002) nous apprend que 44% des 35 millions de déplacements quotidiens sont motorisés. Nous obtenons le trafic journalier en multipliant la portée moyenne de 6,4 kilomètres- transformée en distance grâce à un coefficient de 0,25. Cela donne un total quotidien de 123,2 M véh*km environ.

³⁸ Ce ratio est à rapporté aux seuls 70 km de chaussée qu'offre le BPP (=2*35).

³⁹ Pour mener notre régression (corrigée de l'hétéroscédasticité) nous avons constitué un échantillon composé d'une journée d'observations (soit 240 points) pour tous les postes géographiques retenus (voir Annexe), et ce pour 2000 et 2007. Cette hypothèse revient à considérer que les capacités d'accueil du BPP n'ont pas changé entre les deux dates. Par ailleurs, l'usage d'une telle relation vitesse-densité implique que nous considérons le BPP comme uniforme : nous ne regardons pas comment évolue sa capacité d'accueil en fonction du nombre de voies le composant, contrairement à la section 4.

Tableau 2 – Gaps entre quantités effectives et optimales d'utilisation du BPP

Situation effective			Situation optimale		
Vitesse	Densité	Flux	Vitesse	Densité	Flux
2,5	347	867	13,9	302	4191
7,5	327	2454	23,2	265	6159
12,5	307	3843	29,3	241	7064
17,5	288	5035	34,1	222	7574
22,5	268	6028	38,4	205	7876
27,5	248	6824	42,2	190	8021
32,5	228	7423	45,8	176	8053
37,5	209	7824	49,0	163	7994
42,5	189	8027	52,3	150	7850
47,5	169	8033	55,6	137	7620
52,5	149	7841	58,9	124	7305
57,5	130	7451	62,5	110	6870
62,5	110	6864	66,0	96	6336
67,5	90	6079	69,8	81	5653
72,5	70	5096	73,8	65	4800
85,8	18	1521	86,0	17	1462

On constate tout d'abord que le BPP est constamment utilisé de manière sous-optimale. Cette sur-utilisation est comprise entre 4 % (pour la classe de vitesse supérieure) et 30 % (pour les classes comprises entre 15 et 35 km/h). On remarque ensuite que le flux maximum est atteint pour la classe de vitesse 45-50 km/h. Ce résultat était prédit par la relation vitesse-densité. Il est possible d'en tirer $q = 356,86 - 3,95*s$. Comme le flux (f) est le produit de la densité et de la vitesse, on peut écrire :

$$f = 356,86*s - 3,95*s^2 \quad (5)$$

Le flux atteint son maximum lorsque la dérivée de cette fonction est nulle ($s = 45,2$ km/h). Il s'agit de la vitesse de circulation qui assure le plus grand débit de véhicules sur le BPP (et donc sa plus grande utilité sociale). Ce flux effectif maximal est néanmoins associé à une perte de bien-être : la vitesse optimale devrait alors être de 55,6 km/h.

Nous avons désormais tous les éléments pour calculer les différents coûts unitaires de congestion. Nous présentons la démarche à suivre pour une classe de vitesse en Annexe. Le tableau 3 synthétise les résultats auxquels nous aboutissons pour 2000 et 2007 :

Tableau 3 – Coûts sociaux de congestion pour 2000 et 2007

Vitesse (km/h)	2000				2007			
	Distrib (%)	Véh*km (M)	coût unit. (€/véh*km)	Coût (M€)	Distrib (%)	véh*km (M)	coût unit. (€/véh*km)	Coût (M€)
2,5	0,15	4,37	2,613	15,08	0,19	5,23	2,838	19,00
7,5	1,20	34,22	0,650	29,36	1,34	37,36	0,706	33,73
12,5	2,81	79,93	0,309	32,62	2,94	82,06	0,336	35,23
17,5	3,72	105,99	0,178	24,90	3,83	107,15	0,193	26,48
22,5	3,66	104,32	0,113	15,52	3,83	107,10	0,122	16,77
27,5	3,59	102,33	0,075	10,08	3,63	101,52	0,081	10,52
32,5	3,38	96,40	0,051	6,45	3,27	91,35	0,055	6,43
37,5	2,88	82,15	0,035	3,74	2,69	75,15	0,038	3,60
42,5	2,53	72,50	0,024	2,26	1,98	55,42	0,026	1,81
47,5	2,14	61,29	0,016	1,29	1,82	50,93	0,017	1,13
52,5	2,02	58,11	0,011	0,81	2,19	61,15	0,011	0,89
57,5	2,71	77,69	0,007	0,70	3,74	104,47	0,007	0,99
62,5	3,83	109,86	0,004	0,59	7,88	220,32	0,004	1,26
67,5	5,82	166,66	0,002	0,51	15,58	435,68	0,003	1,40
72,5	8,19	234,25	0,001	0,36	20,16	563,57	0,001	0,92
85,8	51,38	1 467,91	0,000	0,59	24,94	697,60	0,000	0,11
Total		2 858,05		144,92		2 796,16		160,35

Les valorisations des pertes de temps sur le BPP sont passées de 144,9 M€ pour 2000 à 160,4 M€ pour 2007, soit une hausse de 15,5 M€ (+10,3 %). L'utilisation du BPP comme infrastructure de transport est donc aujourd'hui plus coûteuse pour la société, ce qui équivaut à un renchérissement de son usage. Une autre manière de rendre compte de ce phénomène consiste à regarder l'évolution du coût moyen de congestion. Celui-ci était de 0.0507 €/véh*km en 2000, il passe à 0.0573 €/véh*km pour 2007 (+ 14 %). Les résultats associés aux Indicateurs Généraux sont par ailleurs assez semblables. Le coût social de congestion passe de 141 M€ à 148 M€⁴⁰. Quelle que soit la source statistique, le BPP génère donc plus de pertes de temps aujourd'hui qu'auparavant⁴¹.

En regardant la structure du coût total, on remarque que les classes de vitesse basses sont bien celles qui induisent le plus de pertes sociales. Le coût unitaire de la première classe de vitesse est de 2,838 €/véh*km en 2007 alors que celui de la dernière classe est quasi-nul. Plus de 88 % du coût estimé pour 2007 provient ainsi des véh*km « en trop » réalisés à une vitesse inférieure à 30 km/h. Ils ne représentent pourtant que 15 % de l'utilisation annuelle du BPP. Inversement, les pertes de temps liées à la sur-utilisation du BPP à des vitesses supérieures à 60 km/h (plus de 60 % du trafic total) ne

⁴⁰ La différence entre les deux dates est deux fois inférieure (+15 M€ contre +7 M€). Comme nous le verrons par la suite, cette différence provient de la moindre baisse de la circulation enregistrée en ré-agréant la base.

⁴¹ La « vraie » perte doit se situer quelque part entre ces deux seuils.

représentent pas plus de 3 % du coût total. On voit donc là l'avantage de notre modèle permettant de distinguer les coûts de congestion selon les classes de vitesse.

Il est possible de repartir de ces estimations et de donner un ordre de grandeur à la perte globale qu'inflige la congestion routière. On sait que Paris et le BPP accueillent en 2005 environ 26 % des encombrements routiers nationaux (URF 2007). En reprenant un coût social équivalent à 1 % du PIB national, la perte se chiffrerait à 4,68 Milliards €. Même avec un ratio (congestion routière dans/autour de Paris) égal à 10^{42} , la perte issue du BPP aurait du se monter à 425 M€ (2,7 fois le montant estimé). Bien qu'approximatif, ce calcul illustre les divergences auxquelles aboutissent les différentes méthodologies (section 4.3). Ils ne signifient pas pour autant que la fréquentation excessive des infrastructures routières ne soit pas un réel problème. Le calcul d'un ratio (coût de congestion/PIB régional) viendrait ainsi souligner que l'Ile-de-France, territoire moteur de l'économie nationale et également motorisée, est potentiellement affaiblie par la « *dépendance à l'égard de l'automobile* » dont fait preuve sa population (Dupuy 2006). Un tel calcul chiffrerait le coût économique de la congestion routière à 0,9 % du PIB francilien⁴³ (ratio très certainement surestimé).

3.3 – Explications de la hausse du coût social de congestion

Nous pouvons mobiliser deux types d'arguments pour expliquer la hausse du coût social de congestion. Le premier type relève du cadre méthodologique et mobilise les variations internes au modèle. Le second type tente de dévoiler les forces impulsant ces variations.

Décomposition du coût social et de son évolution - Trois éléments influent directement sur le résultat des estimations. Les coûts de congestion étant fonction inverse de la vitesse de circulation, tout changement dans la distribution des véh*km selon les classes de vitesse fera varier la perte finale. Nous avons par ailleurs défini des coûts unitaires de congestion. Il en découle qu'une modification du numéraire (le nombre de véh*km parcourus) influera sur l'ampleur de la perte estimée. Nous avons enfin noté que le coût d'opportunité du temps augmentait au fil des années, ce qui se traduit par une hausse équivalente de la valorisation des pertes. Le mélange de ces trois effets complique quelque peu la compréhension du phénomène.

Il est possible de discerner les coûts/économies propres à chacun des effets mentionnés. On mesure la perte générée par le changement dans la distribution en appliquant au nombre de véh*km réalisés en

⁴² Ratio délibérément surévalué.

⁴³ Il est possible de déduire des données URF (2007) que Paris et le BPP correspondent à 32,5 % des encombrements régionaux. Les 1640 M€ deviennent donc 5040 M€ au niveau régional. En prenant un PIB francilien environ égal à 600 Milliards €, le ratio est égal à 0,7 %.

2007 la structure de 2000⁴⁴. On aurait alors eu une perte sociale de 149 M€, ce qui chiffre le coût du changement de distribution à 11 M€ environ. Pour cibler les gains résultant de la baisse absolue de la circulation, on regarde quel aurait été le coût pour 2007 en gardant le nombre de véh*km au niveau de 2000⁴⁵. Nous aurions alors trouvé une perte aux alentours de 164 M€. L'économie est donc de 3 M€ environ. La hausse du coût d'opportunité du temps vient clore l'addition. En appliquant à la circulation de 2007 (nombre de véh*km et structure) les coûts unitaires de 2000, on trouve une perte de 153 M€ :

Tableau 4 – Contribution des différents effets à la hausse du coût social de congestion

	2000 – 2007
<i>Δ Distribution</i>	+ 11 M€
<i>Δ Trafic</i>	-3 M€
<i>Δ Coût du temps</i>	+ 7 M€
Solde	+ 15 M€

Le même travail de décomposition a été mené pour les estimations issues des Indicateurs Généraux. Nous trouvons dans ce cas que la baisse des vitesses et la baisse du trafic se compensent strictement (de l'ordre de 11 M€ chacune), laissant le solde final dépendre de la hausse du coût d'opportunité du temps (7 M€)⁴⁶.

Ces calculs montrent donc l'importance que prennent les valeurs tutélaires dans les calculs économiques. Dans une première version, la hausse du coût d'opportunité du temps (+ 8,6 % entre 2000 et 2007) explique environ 50 % du surcoût de congestion estimé. Dans une seconde version, c'est la totalité des pertes supplémentaires qui lui sont imputables. La hausse de la congestion pourrait donc sembler fictive aux yeux de certains, car relevant d'une convention académique. Il ne faut toutefois pas renier le fait que la région francilienne demeure dynamique sur le plan économique. La hausse du coût d'opportunité du temps n'est donc pas sans fondement⁴⁷, il en est de même de l'évolution du coût social de congestion.

Baisse de la vitesse et changement de structure - La baisse des vitesses (et le changement induit sur la distribution des véh*km) est un puissant vecteur explicatif de la hausse des pertes sociales. Son effet est dans le cas présent supérieur à celui du coût d'opportunité du temps. Il faut donc comprendre cette tendance. La figure 2 offre une première analyse du phénomène. Elle décrit les fréquences cumulées des véh*km parcourus selon les classes de vitesse pour 2000 et 2007 :

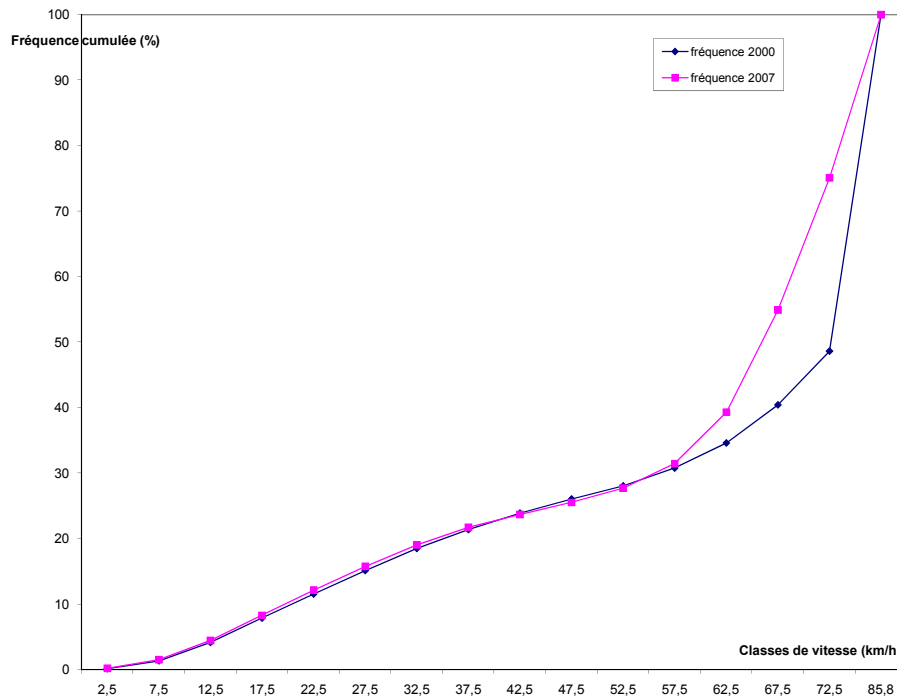
⁴⁴ Il convient de garder les coûts unitaires calculés avec la valeur du temps de 2007.

⁴⁵ Idem à la note précédente.

⁴⁶ Cette divergence s'explique par la plus importante baisse du trafic enregistrée par les Indicateurs Généraux entre 2000 et 2007 (-7% contre -2%).

⁴⁷ Il conviendrait en fait de connaître l'évolution réelle du salaire réel (ou revenu) moyen francilien et de la comparer à celle du coût d'opportunité du temps pour dire si notre estimation est biaisée à la hausse ou à la baisse.

Figure 2 – Fréquences cumulées des véh*km selon les classes de vitesse 2000/2007



Cette figure permet d'éclaircir des résultats déjà présents dans le tableau 3. Les fréquences cumulées des véh*km en 2000 et en 2007, jusque là d'apparence très similaires, divergent à partir de la classe de vitesse 55-60 km/h. Il en découle une forte baisse de la vitesse médiane. Supérieure à 85 km/h en 2000, elle descend aux alentours de 67,5 km/h en 2007, soit une baisse de 20 % (au minimum). Ce changement dans la distribution est responsable de la baisse de la vitesse moyenne de circulation⁴⁸ car concernant la majorité des véh*km. La baisse des vitesses est donc arrivée « *par le haut* ». Pour revenir à notre estimation du coût social de congestion, on comprend que de nombreux véh*km se sont déplacés vers les classes de vitesses inférieures. Des coûts unitaires supérieurs leurs sont donc appliqués.

Cette tendance se prolonge aux classes de vitesse basses, même si elle est moins perceptible car d'une ampleur moindre. Des yeux aguerris auront remarqué sur la figure 2 que la fréquence cumulée des véh*km en 2007 est légèrement supérieure pour ces classes de vitesse (les deux courbes se recroisent aux alentours de 37,5 km/h). La baisse générale des vitesses de circulation se traduit même dans le cas présent par une hausse du nombre absolu des véh*km parcourus au sein des classes de vitesse inférieures. Connaissant l'importance qu'ont ces classes de vitesse dans le résultat final, on trouve là une des principales explications quant à la hausse des pertes de temps sur le BPP. Le tableau 5 synthétise ces résultats :

⁴⁸ Rappelons que celle-ci est passée de 45,9 km/h en 2000 à 43,5 km/h en 2007 (tableau 1).

Tableau 5 – Evolution du trafic et du coût de congestion pour des classes de vitesse caractéristiques

	2000			2007		
	%	véh*km (M)	Congestion (M€)	%	véh*km (M)	Congestion (M€)
$v < 20$	7,9	224,5	102	8,3	231,8	114,5
$20 < v < 50$	18,2	519	39,4	17,2	481,5	40,3
$50 < v < 75$	22,6	646,6	3	49,5	1 385,2	5,5
$v > 75$	51,3	1 467,9	0,6	24,9	697,6	0,1

L'effet de structure est primordial dans cet exemple. La seule économie due au recul du trafic est réalisée pour la classe de vitesse supérieure, mais elle est infime (0,5 M€). A l'inverse, les croissances de la part relative et du nombre absolu de véh*km parcourus dans les classes de vitesse basses mènent à la hausse le coût social de congestion. Bien que minimes (+3,2 %) elles conduisent à une surfacture de 12,5 M€⁴⁹. Rappelons que notre modélisation n'attribue pas le même « poids » aux véh*km selon les vitesses auxquelles ils sont parcourus. Elle permet donc bien cibler les effets dus aux changements intervenus dans la distribution. Il s'agit à nos yeux de sa principale force.

La politique de CSA - Il est possible de proposer une justification au recul des vitesses (médiane et moyenne). En 2002 fut décidée la politique de « *Contrôle Sanction Automatisé* » (CSA, lancée fin 2003). Le CSA a pour but de réduire l'insécurité routière et le nombre d'accidentés en forçant les automobilistes à modifier leurs comportements de conduite⁵⁰. Pour ce faire ont été implantés sur les axes routiers de nombreux radars automatiques relevant les infractions dues aux excès de vitesse. Cette politique a récemment été évaluée (ONISR 2006). Il ressort de l'analyse que le système des radars automatiques a eu des effets positifs aussi bien au niveau local (forte baisse des accidents à proximité du radar, notamment des accidents mortels) que global (la baisse des vitesses a été constatée avant même le lancement des radars automatiques : effets d'annonce et d'apprentissage). Même si elle doit être complétée avec l'usage de radars mobiles et que son acceptabilité sociale est loin d'être univoque, la politique de CSA n'a pas été neutre pour la circulation automobile⁵¹.

Ces conclusions semblent également s'appliquer au BPP. Depuis 2004, 8 radars automatiques⁵² ont été progressivement implantés sur l'infrastructure routière. Rappelons que la vitesse réglementaire de circulation y est limitée à 80 km/h. Comme le montre le tableau 6, celle-ci est très fréquemment dépassée (Bilan des Déplacements 2007) :

⁴⁹ Il convient de préciser qu'au changement des parts relatives des classes de vitesse s'ajoute dans le tableau 7 la hausse du coût d'opportunité du temps.

⁵⁰ La modification des comportements passe par la contrainte financière (le règlement du procès-verbal) et réglementaire (le nombre de points sur le permis de conduire).

⁵¹ Sachant que le CSA est responsable des trois quarts de la baisse des accidents enregistrés, son bilan socio-économique est largement positif, entre 3 et 4 Milliards euros (ONISR 2006).

⁵² Sur le PI : Porte de Sèvres, Porte de Champerret, Porte de Bagnole et Quai d'Ivry. Sur le PE : Porte de Châtillon, Porte de Clichy, Porte de Pantin et Porte d'Auteuil.

Tableau 6 – Infractions relevées par les radars automatiques sur le BPP

	2004	2005	2006	2007
<i>Nombre d'infractions</i>	162 000	186 600	324 300	334 600
<i>Nombre de radars</i>	4	8	8	8
<i>Evolution infractions</i>	-	+15 %	+75 %	+3 %

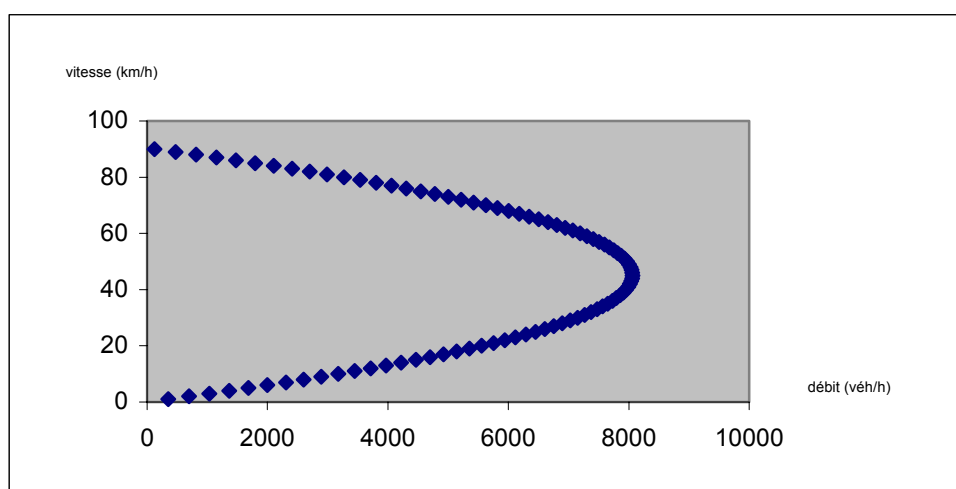
Le nombre d'infractions relevées par les radars automatiques est en constante progression depuis 2004. Si cette hausse fut considérable entre 2005 et 2006, elle s'est stabilisée depuis à un niveau très élevé⁵³. Ayant en tête les conclusions de l'ONISR (2006), on peut donc supposer que la baisse de la vitesse médiane sur le BPP est liée à l'introduction de la politique de CSA. Les automobilistes ont ajusté (sous la contrainte) leurs comportements de conduite et se montrent dorénavant plus prudents⁵⁴. Ce faisant, ils expliquent les changements intervenus dans la distribution des déplacements. La réduction de l'ensemble des vitesses de circulation pousse mécaniquement à la hausse le coût social de congestion. Dans notre estimation, cette tendance se traduit directement au travers de l'évolution opposées que connaissent les deux dernières classes de vitesse (tableau 5). L'effet indirect sur les classes de vitesse basses est plus incertain, comme nous allons le voir maintenant.

Quel recul du trafic ? - Une troisième force guide l'évolution du coût social de congestion : le volume du trafic sur le BPP (mesuré par le nombre de véh*km parcourus). Celui-ci a reculé entre 2000 et 2007, ce qui engendre mécaniquement une économie. L'ampleur de cette baisse diffère toutefois selon la source statistique retenue. Ceci n'implique pas des estimations du coût social de congestion foncièrement éloignées mais la nature des explications à mobiliser pour justifier cette économie s'en trouve modifiée. La figure 3 permet d'illustrer cette ambiguïté. Elle représente la relation vitesse-débit trouvée pour le BPP à partir de l'équation (5) :

⁵³ Niveau à mettre en relief avec l'intense usage du BPP.

⁵⁴ Une autre explication de la baisse des vitesses pourrait provenir d'un changement dans la composition du trafic sur le BPP. Il est reconnu que depuis quelques années se sont multipliés les déplacements en deux-roues motorisés (Bilan des Déplacements 2007). Ce changement de mode de transport est motivé soit par des considérations d'ordre environnemental, soit par des raisons économiques (hausse du prix de l'essence), soit enfin par des raisons fonctionnelles (CSA/Crédit Agricole 2008). Nous avons mentionné en introduction qu'était menée à Paris une politique de lutte contre l'automobile passant par la restriction de l'espace viaire. En réponse aux encombrements de plus en plus fréquents, certains automobilistes ont ainsi substitué leurs véhicules particuliers par des deux-roues-motorisés. Certains de ces néo-motards se retrouvent donc sur le BPP. Si les deux-roues permettent de remonter plus facilement les files durant les périodes de « pointe », il est probable qu'ils aient également une influence sur la fluidité du trafic durant les heures « creuses ». La multiplication des motos obligerait les automobilistes à redoubler de prudence car, étant moins visibles, les conducteurs devraient rouler plus lentement afin d'ajuster leur temps de réaction et éviter des accidents d'autant plus mortels qu'ils concernent des voyageurs moins bien protégés. Cette idée ne relève que d'une hypothèse, il conviendrait de mener une réelle analyse scientifique afin d'en tester la validité.

Figure 3 – Relation vitesse-débit pour le BPP



Nous avons vu précédemment que la vitesse qui assurait le flux maximum sur le BPP était égale à 45,2 km/h. Cette vitesse correspond au point d'inflexion de la courbe vitesse-débit. Dès lors que l'on se situe au dessus de ce point, toute baisse de la vitesse équivaut à une augmentation du flux horaire et donc du trafic mesuré par les véh*km. En dessous, elle se traduit par une réduction de la fréquentation routière.

Si on se réfère aux vitesses moyennes issues des Indicateurs Généraux, on se trouve sur la partie supérieure de la courbe vitesse-débit. L'évolution des vitesses (51,2 km/h en 2000, 46 km/h en 2007) impliquerait qu'on se rapproche du flux maximum autorisé par l'infrastructure routière. Suivant cette idée, on aurait donc du avoir plus de véh*km parcourus sur le BPP en 2007. Le recul du trafic s'expliquerait dans ce cas par une forte chute du nombre absolu de véhicules empruntant le BPP.

Cette justification est plausible car correspondant à un contexte sociétal de plus en plus en désaccord avec l'usage de l'automobile. Elle est également cohérente avec la hausse du report modal vers les transports en commun ou ferroviaires, comme l'indiquent les chiffres du Bilan des Déplacements (2007)⁵⁵. Enfin, nous avons déjà mentionné que la politique des transports menée dans Paris avait réussi à y réduire la circulation automobile. L'usage de la voiture dans et autour de la capitale étant nécessairement interdépendants, on a là une explication supplémentaire au recul du nombre de véhicules sur le BPP⁵⁶.

⁵⁵ Nous nous devons à ce propos de noter l'importance scientifique que revêt l'étude la congestion dans les transports en communs. Si celle-ci ne joue qu'indirectement et de manière moins visible sur les vitesses des déplacements, les questions de la qualité et du confort des voyages demeurent essentielles.

⁵⁶ À ces arguments pourrait s'ajouter celui relatif à la causalité circulaire existant entre croissance économique et déplacements automobiles (Cervero 2001). Plus un territoire est dynamique et plus il joue le rôle d'« aimant » pour les populations et l'activité économique, ce qui pousse à la hausse la demande de déplacements. Certains

Si, toutefois, nous reprenons les vitesses moyennes calculées en ré-agrégeant la base de données (45,9 km/h en 2000, 43,5 km/h en 2007), le constat est opposé⁵⁷. On serait tout d'abord passé par la vitesse qui autorise le flux maximum (45,2 km/h) puis, la baisse se prolongeant et s'accroissant⁵⁸, on s'en éloignerait au fur et à mesure. La chute du nombre de véh*km est alors quelque peu « *mécanique* » et tributaire des changements intervenus dans la structure des vitesses de déplacement.

Cette vision des choses n'est pas incompatible avec les arguments présentés auparavant, même si elle fait intervenir un autre mécanisme. Si le trafic se situe peu après 2000 sur la partie inférieure de la courbe vitesse-débit, toute arrivée sur le BPP a pour effet d'augmenter la densité, de faire baisser la vitesse de circulation et donc de réduire le débit. L'effet final sur le nombre de véh*km est ambigu. Mais si on le conjugue à la désaffectation réelle que connaît actuellement le système automobile, on aurait là une explication cohérente au plus faible recul de la circulation enregistré. Ce phénomène viendrait également compléter l'explication de la baisse des vitesses moyennes mobilisant jusque là l'unique politique de CSA.

Cette divergence statistique ainsi que la causalité circulaire reliant vitesse et débit compliquent donc la compréhension du phénomène⁵⁹. L'origine du recul du trafic diffère selon que l'on se situe de part et d'autre du seuil critique qu'est la vitesse autorisant le flux maximum sur le BPP. L'« *histoire* » contée n'est plus la même, ce qui remet en cause l'efficacité de telle ou telle politique. Par souci de cohérence intellectuelle, nous préférons la seconde version, puisqu'étant issue du traitement de la base de données. Les résultats que nous présentons dans la section suivante reprennent cette ligne directrice. Il est toutefois possible qu'une base en tout point identique mais construite à partir d'autres mois que juin et octobre n'aboutisse à des chiffres concordants avec les Indicateurs Généraux.

Face à ces incertitudes, une seule conclusion peut donc être prise pour sûre : le BPP est aujourd'hui utilisé en moyenne d'une manière proche de son maximum. Toute réelle qu'elle puisse l'être, la baisse de la circulation ne fait que freiner la hausse du coût social de congestion portée par le recul des vitesses et la valorisation croissante du temps. Comme nous allons le voir par la suite, cette conclusion n'implique pas pour autant que cette utilisation « *maximale* » soit nécessairement homogène. Il faut par ailleurs relativiser les arguments que nous venons d'exposer : quelle est la réelle pertinence d'un raisonnement basé sur des indicateurs moyens alors même que l'analyse détaillée de la structure semble dans le cas présent plus juste et cohérente ?

auteurs soulignent « *l'endormissement* » économique de la capitale (Davezies 2008), ce qui se traduirait par un recul endogène de la circulation automobile.

⁵⁷ On retrouve le même phénomène avec les vitesses moyennes issues du Bilan des Déplacements (2007).

⁵⁸ La politique de CSA ne fut réellement lancée sur le BPP qu'en 2004.

⁵⁹ L'unité de compte véh*km est également responsable du flou rencontré : elle ne permet pas de faire la distinction entre les variations du nombre de véhicules et des distances que ces véhicules parcourent.

4- Désagréations et sensibilité du modèle

Cette section a pour but d'affiner nos résultats et de tester leur sensibilité. Nous allons tour à tour désagréger notre approche selon l'échelle temporelle et spatiale. Cette décomposition du trafic et du coût social de congestion doit permettre de savoir quand et où se situent les tensions associées à l'usage du BPP.

4.1 – Désagréation selon l'échelle temporelle

Il est intéressant de savoir comment se répartissent dans le temps les pertes dues à la congestion du BPP. Pour cela, nous avons découpé une journée d'observation en cinq créneaux horaires (00-07h, 7-10h, 10-17h, 17-20h, 20-00h, voir Annexe). Deux de ces créneaux ont été qualifiés de « *pointe* » (7-10h, 17-20h), les autres représentant les heures « *creuses* »⁶⁰. Les heures de « *pointe* » accueillent pour la majeure partie les déplacements pour « *motif de travail* » et peuvent posséder par ce biais un caractère contraint. Elles sont considérées naturellement comme critiques en termes de gestion des infrastructures routières. Le régime de circulation (autorisé par la capacité physique de la route et la demande) y passe le plus souvent de fluide à saturé, ce qui réduit les flux et intensifie la congestion routière. On est donc sur la partie descendante de la courbe vitesse-débit. Le tableau 7 décrit comment ont évolué les conditions de circulation sur le BPP selon leur étalement dans la journée :

Tableau 7 – Répartition temporelle des déplacements sur le BPP en 2000 et 2007

	2000			2007			Δ 2000/2007	
	véh*km (M)	Part (%)	vitesse (km/h)	véh*km (M)	Part (%)	vitesse (km/h)	véh*km (%)	vitesse (%)
« Pointes »	879,3	31	28,7	895,6	32	27,3	+1,8	-5,1
07-10 h	417,1	15		451,8	16		+8,3	
17-20 h	462,2	16		443,7	16		-4,0	
« Creuses »	1 978,8	69	57,3	1 900,6	68	54,4	-4,0	-5,3
00-07 h	341,9	12		340,8	12		-0,3	
10-17 h	1 142,2	40		1 100,9	39		-3,6	
20-00 h	494,7	17		458,8	17		-7,2	

On constate tout d'abord une grande stabilité de la répartition de la circulation selon les créneaux horaires. Plus des deux tiers des véh*km sont parcourus durant les heures « *creuses* », lorsque la vitesse moyenne de circulation est élevée (55 km/h environ). Le tiers restant correspond aux déplacements réalisés lors des heures de « *pointe* », lorsque la densité est importante et la vitesse deux fois moindre (27,3 km/h).

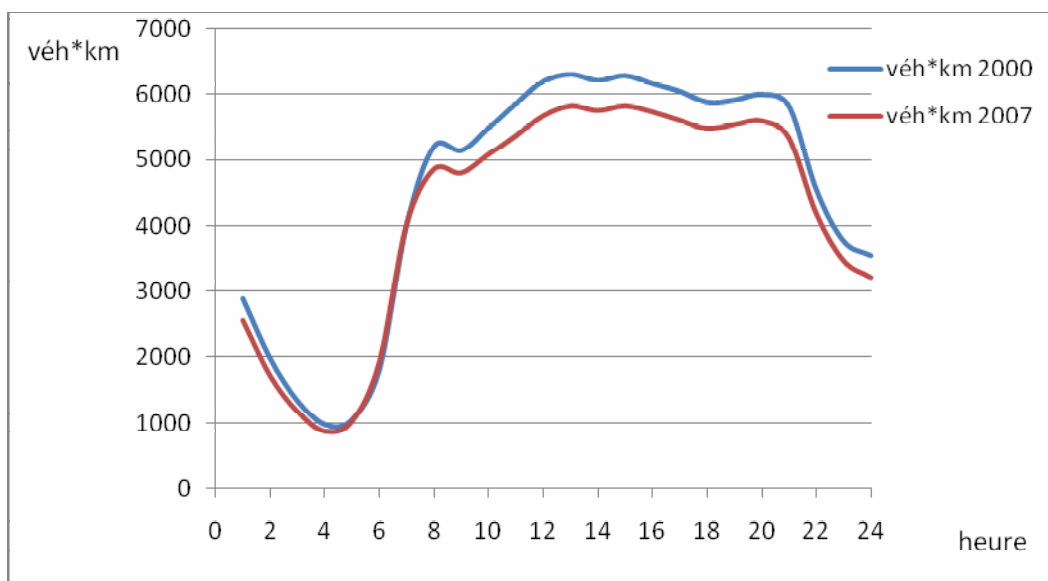
⁶⁰ Nous nous servons de cette distinction pour différencier les observations issues de la base et le calcul des distributions.

Les chiffres du tableau 7 complètent notre analyse de l'effet de structure. On comprend ainsi que les véh*km « perdus » par les classes de vitesse supérieures l'ont été durant les heures « creuses ». La plus forte baisse relative correspond au créneau 20-24 h (-7%), la plus forte baisse absolue au (long) créneau horaire 10-17 h (-42 M véh*km). Inversement, les véh*km « gagnés » par les classes de vitesses basses proviennent essentiellement de la croissance de la circulation entre 7 et 10h (+8%). Celle-ci compense le recul du créneau 17-20h (-4 %).

On peut prolonger l'incertain diagnostique débuté à la section précédente. Pendant les heures « creuses », l'évolution de la vitesse moyenne (-5 %) devrait se traduire par un flux moyen et un nombre de véh*km supérieurs. Le recul de la fréquentation s'explique donc par un moindre usage de l'automobile sur le BPP. Durant les heures de « pointe », la baisse de la vitesse moyenne devrait quant à elle induire un flux horaire inférieur. La hausse du nombre de véh*km qu'on y observe proviendrait donc d'un plus grand nombre d'automobiles sur le BPP à ces instants.

La figure 4 est issue des Indicateurs Généraux. Elle représente l'évolution du nombre de véh*km parcourus selon les heures d'une journée entre 2000 et 2007 :

Figure 4 – Véh*km selon les heures d'une journée



Si elle s'oppose quelque peu aux chiffres du tableau 7⁶¹, la figure 4 conforte néanmoins l'idée de stabilité dans le temps de la répartition de la circulation sur le BPP. Partant de là, nous avons décidé d'estimer les coûts sociaux de congestion en retenant deux élasticités (ϵ) pour la droite de demande. Nous gardons celle de -0,8 et la complétons par une égale à -0,6 pour les heures de « pointe ». Cette

⁶¹ Puisque considérant une baisse absolue du nombre de véh*km bien plus forte. A ce propos, il est intéressant de constater que la courbe représentant le nombre de véh*km en 2007 est juxtaposée, voire supérieure, à celle de 2000 pour les heures de « pointe » matinales. Ce résultat va dans le sens de nos observations.

moindre sensibilité fait référence au caractère contraint des déplacements durant les heures de « *pointe* »⁶². Elle constitue par ailleurs une manière de tester la sensibilité de notre modélisation. Le tableau 8 présente les résultats de ces estimations :

Tableau 8- Coût social de congestion selon les créneaux horaires 2000/2007

	Congestion 2000 (M€)		Congestion 2007 (M€)	
	$\varepsilon = -0,8$	$\varepsilon = -0,6$	$\varepsilon = -0,8$	$\varepsilon = -0,6$
« <i>Pointes</i> »	99,3	96,0	110,9	107,2
07-10 h	47,1	45,5	56,0	54,1
17-20 h	52,2	50,5	54,9	53,1
« <i>Creuses</i> »	45,6	45,6	49,4	49,4
00-07 h	7,9	7,9	8,9	8,9
10-17 h	26,3	26,3	28,6	28,6
20-24 h	11,4	11,4	11,9	11,9
Total	144,9	141,6	160,3	156,6

Les résultats du tableau 8 sont cohérents avec les tendances dévoilées précédemment. Les heures de « *pointe* » voient bien leur coût social de congestion augmenter, notamment durant le créneau horaire 7-10h (+11 M€) qui connaît la double augmentation du nombre absolu de véh*km et du coût d'opportunité du temps. Ce sont elles qui poussent à la hausse le coût social de congestion. Les heures « *creuses* » enregistrent elles aussi, et ce malgré une baisse de leur fréquentation absolue, de plus nombreuses pertes de temps. Il faut y voir l'effet du changement de structure et surtout de la hausse de la valeur tutélaire (w).

Les résultats associés à l'élasticité de $-0,6$ peuvent paraître contre-intuitifs. Considérer les déplacements durant les heures de « *pointe* » comme contraints nous conduit en effet à des estimations légèrement inférieures (107,2 M€ contre 110,9 M€ pour 2007). Cet effet passe en fait par le calcul des gaps entre quantités effectives et optimales d'utilisation. La moindre sensibilité que l'on attribue à la droite de demande pour ces créneaux horaires aboutit à des gaps inférieurs. Etant « *obligés* » de prendre leurs véhicules durant ces heures, les automobilistes ressentent (et valorisent) moins les effets de la sur-utilisation du BPP.

Au final, cette désagrégation de l'analyse selon l'échelle temporelle nous permet de préciser les résultats avancés dans la section 3. L'effet de structure (selon lequel le nombre de véh*km parcourus à des vitesses basses augmente) se retrouve dans l'étude des heures de « *pointe* », notamment entre 7 et 10h. La hausse du coût social de congestion s'y retrouve essentiellement. Par ailleurs, la

⁶² L'usage d'une telle élasticité s'oppose aux modèles dynamiques de congestion. Ceux-ci supposent implicitement que les automobilistes sont hyper-sensibles, ce qui se traduit par leurs changements d'habitudes et les horaires décalées de départs/arrivées.

différenciation de l'élasticité ne fait pas trop varier nos résultats. Le modèle ne semble donc pas foncièrement sensible aux variations d'un des paramètres⁶³.

4.2 – Désagrégation selon l'échelle spatiale

Nous avons jusqu'ici considéré le BPP comme une infrastructure uniforme. Cette simplification rend la conduite du travail plus aisée mais occulte le fait que le BPP connaît une certaine hétérogénéité dans son utilisation et ses capacités d'accueil. C'est notamment le cas du nombre de voies de circulation mais également des flux entrants sur le BPP. Ce dernier point est d'autant plus important que sur le BPP est respectée la priorité à droite (donc aux véhicules s'y insérant). Nous avons découpé le BPP en 4 zones géographiques : Nord, Sud, Est et Ouest⁶⁴ (voir Annexe). Concrètement, cette désagrégation revient à calculer plusieurs relations vitesse-densité et à différencier les distributions des véh*km selon les vitesses pour chacune des zones. Le tableau 9 présente tout d'abord ces relations vitesse-densité :

Tableau 9 – Relations vitesse-densité selon les zones géographiques

	Relations vitesse-densité		
Nord	$s(q) = 93.119 - 0.249*q$ (0.1522) (0.0012)		R2 = 0.76
Est	$s(q) = 90.999 - 0.246*q$ (0.1403) (0.0010)		R2 = 0.78
Sud	$s(q) = 85.353 - 0.264*q$ (0.1409) (0.0013)		R2 = 0.74
Ouest	$s(q) = 92.392 - 0.251*q$ (0.1198) (0.0008)		R2 = 0.79
Ensemble	$s(q) = 90.285 - 0.253*q$ (0.0710) (0.0005)		R2 = 0.75

Elles ne sont pas si divergentes les unes des autres. Seule celle relative à la section Sud se démarque légèrement de par la vitesse « à vide » qu'elle autorise (85,4 km/h lorsque q=0). Rappelons que la relation vitesse-densité était centrale pour obtenir les coûts unitaires de congestion⁶⁵. On peut donc anticiper et avancer que ces coûts unitaires se différencient selon les zones géographiques. Présentons auparavant l'évolution du trafic et des vitesses moyennes de circulation⁶⁶ pour chacune de ces zones :

⁶³ L'estimation produite avec l'élasticité de -0,6 débouche sur des résultats inférieurs de 2,3% environ.

⁶⁴ Ces différentes zones ne sont pas toutes de la même longueur. Les sections Nord et Sud sont ainsi légèrement plus étendues (10 km chacune) que les sections Est et Ouest (8 km).

⁶⁵ C'est notamment le cas de la pente de cette relation. On la retrouve directement dans la fonction de coût social.

⁶⁶ Il est possible de calculer que les vitesses autorisant le flux maximum pour les zones Nord, Est, Sud et Ouest sont respectivement 46, km/h, 45,4 km/h, 42,7 km/h et 46,2 km/h.

Tableau 10 – Circulation et Vitesse moyenne selon les zones géographiques

	2000		2007		Δ 2007/2000	
	véh*km (M)	vitesse (km/h)	véh*km (M)	vitesse (km/h)	véh*km (%)	vitesse (%)
Nord	845,7	53,8	833,9	49,8	-1,4	-7,4
Est	723,8	47,7	691,9	43,3	-4,6	-9,2
Sud	666,2	37,9	641,5	33,9	-3,9	-10,5
Ouest	622,3	45	628,8	49,7	1	10,4
<i>Ensemble</i>	<i>2 858</i>	<i>45,9</i>	<i>2796</i>	<i>43,5</i>	<i>-2,2</i>	<i>-5,2</i>

Le tableau 10 permet de rendre compte de l'hétérogénéité que connaît le BPP dans son utilisation. Si les zones Nord, Est et Sud suivent la tendance observée au niveau global (baisse de la circulation et de la vitesse), ce n'est pas le cas de la section Ouest. Celle-ci voit en effet sa fréquentation légèrement croître et la qualité du service s'y améliorer nettement. On constate par ailleurs que la partie Sud du BPP est celle qui rencontre les pires difficultés de circulation : la vitesse y est structurellement plus faible⁶⁷ et a connu une forte chute (-10 % environ). On peut donc imaginer que sa contribution au coût social de congestion est importante. Concernant la section Est, si les vitesses de circulation restent somme toute assez élevées (malgré une baisse de 9 %), l'importance du trafic qu'elle écoule implique que le coût unitaire de congestion sera appliqué à de nombreux véh*km. A l'opposé, les conditions de circulation sur le Nord du BPP semblent satisfaisantes : un fort volume du trafic s'y retrouve et ce, à une vitesse relativement élevée (mais également en baisse).

Nous avons vu dans la section 3 que la majeure partie du coût social de congestion provenait des classes de vitesse basses. Aussi avons-nous choisi d'intégrer au tableau 11 la part des véh*km parcourus à une vitesse inférieure à 30 km/h :

Tableau 11 – Coûts sociaux de congestion selon les zones géographiques

	2000		2007	
	Coût congestion (M€)	Part des vitesses « basses » (%)	Coût congestion (M€)	Part des vitesses « basses » (%)
<i>Nord</i>	28,42	10,27	33,64	12,11
<i>Est</i>	52,22	13,57	63,89	14,81
<i>Sud</i>	51,73	20,25	61,84	23,87
<i>Ouest</i>	33,22	17,87	24,54	13,33
Total	165,59	15,08	183,91	15,75

Les coûts sociaux de congestion vont dans le sens des tendances commentées ci-dessus. Les sections Sud et Est sont ainsi les plus congestionnées (67 % du coût total à elles deux en 2007). Les évolutions des vitesses moyennes sont les plus défavorables, ce qui se traduit directement dans nos estimations. La plus importante part relative qu'y occupent les classes de vitesses inférieures à 30 km/h est le meilleur reflet de cet effet. Inversement, la section Ouest (dont les conditions de circulation se sont

⁶⁷ Ce qu'on a pu remarquer avec la relation vitesse-densité.

améliorées) voit son coût social de congestion diminuer. Pour la zone Nord, on pourrait être étonné par la faible ampleur perte sociale estimée si on la compare au volume de son trafic. Mais, bien qu'elle soit également en hausse, la part relative des vitesses basses y est plus faible que sur les autres sections. Ayant la mécanique du modèle en tête, ces résultats ne sont donc nullement contradictoires.

Le lecteur aura pu remarquer que la somme de ces coûts désagrégés (165 M€ pour 2000, 184 M€ pour 2007) diffère du montant estimé dans la section 3 (145 M€ en 2000 et de 160 M€ en 2007). Cette différence d'environ 15 % est due au changement du niveau d'analyse. Le tableau 12 permet d'éclairer ce phénomène. Il décrit les coûts unitaires de congestion calculés pour chacune des zones et les compare avec ceux provenant de l'échelle agrégée (pour la classe de vitesse 5-10 km/h) :

*Tableau 12 – Comparaison des coûts unitaires de congestion (€/véh*km, classe de vitesse 5-10 km/h)*

	2000	2007
Nord	0,658	0,715
Est	0,805	0,874
Sud	0,636	0,691
Ouest	0,653	0,710
Ensemble	0,650	0,706

On constate que 3 de ces 4 coûts unitaires désagrégés sont supérieurs à celui obtenu en considérant le BPP dans son ensemble. Cette divergence justifie les 15 % de pertes supplémentaires auxquelles nous aboutissons. Par ailleurs, les coûts unitaires de la section Est dominent les autres. Il s'agit là d'une seconde explication quant à l'importance qu'occupe cette zone géographique dans le coût total de la congestion routière du BPP.

4.3 – Sensibilité et comparaison

Avant de récapituler et synthétiser les apports de cette étude, il nous a semblé utile de revenir sur les différentes estimations produites. Le modèle a été testé selon divers niveaux d'analyse (BPP dans son ensemble, décomposition spatio-temporelle), faisant varier le coût social de congestion suivant les configurations retenues. Le lecteur se sera peut-être perdu devant la présentation de si nombreux chiffres. Le tableau 13 permet de récapituler les principaux résultats :

Tableau 13 – Récapitulatif des différentes estimations

	2000	2007
<i>Modèle agrégé ($\epsilon = 0,8$)</i>	145 M€	160 M€
<i>Modèle agrégé (Indic. Gén.)</i>	141 M€	148 M€
<i>Modèle désagrégé ($\epsilon = 0,6$)</i>	142 M€	157 M€
<i>Modèle désagrégé (zones)</i>	166 M€	184 M€

Si on se focalise sur 2007, les estimations oscillent entre 150 et 180 M€ environ. Cet écart est loin d'être négligeable. Mais ces pertes restent dans un ordre de grandeur somme toute similaire, ce qui semble renforcer la validité des résultats. Rappelons que la surfacture associée à la désagrégation géographique du modèle s'explique par la différenciation des coûts unitaires de congestion.

En retenant ces valeurs, nous avons montré que la facture de la congestion routière était à relativiser. Si, au niveau national, les pertes de temps sont loin d'être aussi importantes que ne l'avancent certaines instances, elles sont néanmoins pénalisantes pour l'économie francilienne. La région capitale concentre en effet 80 % des encombrements routiers nationaux (URF 2007), il s'agit là d'un réel enjeu pour son développement local. Ce travail est donc un exemple de la malléabilité caractérisant parfois la modélisation économique mais également les recommandations politiques pouvant en découler. Afin de se faire une idée du poids que peuvent avoir ces divergences méthodologiques, le tableau 14 présente les résultats⁶⁸ associés à certaines des modélisations de la congestion présentées dans la seconde section (section 2.3) :

Tableau 14 – Estimations issues d'autres méthodologies

	2000	2007
<i>Route vide</i>	376 M€	430 M€
<i>Flux max.</i>	134 M€	181 M€
<i>INFRAS</i>	852 M€	857 M€

Deux de ces trois estimations dépassent amplement les chiffres que nous avançons. Dans le cas de la « route vide », rappelons que la situation de référence est associée à une vitesse de circulation sur le BPP proche de 90 km/h. Les estimations reprenant les coûts unitaires de l'INFRAS (2000) sont les plus démesurées⁶⁹ : elles aboutissent à une perte sociale plus de 5 fois supérieure à celle que nous avons trouvée. Les raisons qui nous poussent à rejeter ces méthodologies ont déjà été abordées (section 2.3), les chiffres du tableau 14 viennent juste conforter nos croyances. On pourrait enfin être étonné par la similitude entre nos résultats et ceux associés à la méthodologie prenant le flux

⁶⁸ Ces résultats ne sauraient être aussi robustes que ceux des sections précédentes. Il ne s'agit que d'approximations (voir Annexe) mais nous pensons qu'ils fournissent de bons ordres de grandeur.

⁶⁹ Le chiffre produit pour 2007 est largement sous-estimé. Ne disposant que des coûts moyens de congestion pour l'année 2000 (voir note 25), nous avons pris le parti de les maintenir constants. La variation du coût social provient donc de l'effet contrasté entre baisse des vitesses et recul de la circulation.

maximum comme référentiel (134 M€ en 2000, 181 M€ en 2007). Pour justifier ce point, rappelons que le BPP nous a paru être (en moyenne) utilisé d'une manière proche de son maximum. Ce constat permet donc de concilier deux résultats pourtant construits sur une opposition théorique (la définition de la congestion dans le cas présent).

5 – Récapitulatif et autres...

Cette dernière section doit permettre de mettre en cohérence les différentes sections de l'article. Elle constitue donc la synthèse de notre recherche et s'efforce d'en déduire certaines implications théoriques et/ou pratiques. Nous terminons par une brève discussion sur l'éventualité d'un péage urbain et présentons une grille de tarification. Ce mode de « *régulation par les prix* » est de plus en plus mis en avant pour corriger l'externalité négative qu'est la congestion routière.

5.1 – Récapitulatif

- L'évolution 2000/2007 des conditions de circulation sur le BPP est contrastée. Sa fréquentation diminue de 2,2 % (2 777 M véh*km/an en 2007) mais la vitesse moyenne de circulation diminue de 45,9 km/h à 43,5 km/h (-5 %).
- Les pertes de temps causées par la sur-utilisation du BPP ont augmenté de 15 M€ : le coût économique de sa congestion passe de 145 M€ à 160 M€ environ (+10 %).
- Ces résultats reposent sur un modèle de type débit-vitesse qui différencie les coûts unitaires de congestion selon des classes de vitesse de 5 km/h.
- Cette spécificité méthodologique permet de préciser qu'environ 90 % de la perte sociale totale provient des véh*km parcourus à moins de 30 km/h.
- Avec la hausse du coût d'opportunité du temps (+ 8,6 %), la baisse des vitesses est la principale explication de cette tendance. Fait notable, cette baisse est arrivée « *par le haut* ». La vitesse médiane a en effet chuté de 20 %, très certainement sous l'effet de la politique de CSA menée depuis 2004.
- La plus grande prudence des automobilistes, bien qu'ayant un léger effet, n'explique pas à elle seule ce renchérissement de l'utilisation du BPP. On observe en effet que la part relative des classes de vitesse les plus basses (les plus coûteuses également) augmente très légèrement durant la période d'étude : la classe 0-20 km/h grignote ainsi entre 2000 et 2007 0,4 % des véh*km totaux (8,3 % en 2007).

- Cette dégradation relative des conditions de circulation est d'autant plus coûteuse qu'elle se traduit dans le cas présent par une hausse du nombre absolu de véh*km parcourus au sein de ces classes de vitesse (+ 7 M véh*km). L'effet de structure explique 11 M€ du coût de congestion additionnel (7 M€ via la hausse du coût d'opportunité du temps).
- La désagrégation temporelle de la base de données nous indique que ces véh*km congestionnés supplémentaires sont réalisés durant les heures de « *pointe* » matinales (7-10h), alors même que celles-ci connaissent une baisse de leur vitesse moyenne. On constate par ailleurs une grande stabilité de la répartition dans le temps de la circulation sur le BPP (le créneau 7-10h passe uniquement de 15 à 16 %).
- La désagrégation spatiale conclue quant à elle que les zones Est et Sud du BPP sont les plus congestionnées (60 % du coût total à elles deux). On y relève également la baisse de la vitesse moyenne et la hausse de la part relative des classes de vitesse basses. La section Nord rencontre des conditions de circulation plus acceptables (bien qu'en régression). L'Ouest enfin est la seule zone qui connaît une embellie : le coût de sa congestion diminue suite au recul de la circulation et à la hausse de la vitesse moyenne.
- Le recul global de la circulation constitue une économie dans notre modélisation (-3 M€). Mais il ne fait que freiner la tendance à la hausse du coût social de congestion. Il est par ailleurs difficile de se prononcer sur l'origine de cette moindre fréquentation du BPP. Est-elle issue d'un comportement sociétal vertueux (moins usage de l'automobile) ? Ou bien est-elle « *mécanique* » ?
- Le BPP étant en moyenne proche de son usage maximum (la vitesse moyenne est aux alentours de la vitesse autorisant le débit maximum), tout dépassement du point d'inflexion de la courbe vitesse-débit se traduit par une réduction du nombre de véh*km. On rencontre là les limites liées à l'usage d'indicateurs moyens mais également à l'unité de compte véh*km.
- Les estimations associées aux Indicateurs Généraux aboutissent également à une hausse du coût social de congestion. Celui-ci passe de 141 M€ en 2000 à 148 M€ en 2007. L'effet « *économie* » causé par le plus grand recul de la circulation (-7 %) est par construction plus important et compense la baisse de la vitesse moyenne (-10 %). Il est par ailleurs impossible de dire quoi que soit concernant la désagrégation spatio-temporelle des résultats. Celle-ci est autorisée par le travail opéré sur la construction de la base de données.
- Malgré ces différences, les Indicateurs Généraux concordent avec l'idée d'utilisation « *maximale* » du BPP (le point d'inflexion est aux alentours de 45 km/h). Si la baisse des vitesses se prolonge, il est probable que le coût économique de la congestion routière sur le BPP augmente encore dans le futur.

Au terme de ce récapitulatif, nous devons (re)préciser que notre étude ne s'est intéressée qu'à un des effets externes liés à l'utilisation du BPP. Nous n'avons en effet estimé que les uniques pertes de temps résultant de la fréquentation excessive du BPP. Pour rendre compte du réel coût social que génère l'usage de cette infrastructure de transport, il faudrait pouvoir compléter nos résultats avec ceux relatifs aux autres effets externes de la circulation routière (Bonnaïous 1992, Zaouali de Palma 2007). Nous pensons aux rejets de CO₂ et autres émissions polluantes qui participent au réchauffement climatique. C'est également le cas de la pollution sonore et des accidents ayant des répercussions sur l'intégrité physique des automobilistes. Un tel travail serait d'autant plus instructif que l'évolution 2000/2007 de la pollution atmosphérique sur le BPP nous apparaît ambiguë.⁷⁰ Si la pertinence d'une étude environnementale peut être remise en cause⁷¹, nous considérons toutefois que l'importance du BPP comme infrastructure de transport permettrait certainement d'en dégager des enseignements intéressants.

Il est maintenant possible de faire échos aux préoccupations théoriques énoncées en introduction. Si nous avons relativisé le coût global de la congestion routière, nous avons néanmoins montré que la région Ile-de-France ne pouvait s'en désintéresser. Selon cette optique, le fait que les vitesses de circulation sur le BPP (mais également dans Paris) soient en baisse revient à modérer la force des économies d'agglomération (la congestion est parfois qualifiée de « *déséconomie* »). Le transport de marchandises sur le territoire francilien apparaît plus coûteux, ce qui affaiblit les gains potentiels aux relations inter/intra-sectorielles sur un espace géographique délimité. Surtout, le renchérissement des coûts de transport des individus est plus problématique (Glaeser 2007). Il diminue l'étendue relative du bassin d'emplois parisien, phénomène d'autant plus pénalisant que la « *taille effective du marché du travail* » (Cervero 2001, Prud'homme Lee 1999) est une des composantes de la productivité des grandes villes (Rousseau 1998). Elle représente les plus grandes opportunités (d'embauches satisfaisantes, de partage de main d'œuvre, de transferts d'idées ...) qu'offrent les agglomérations urbaines. Etant donnée l'importance du BPP dans le réseau de transport francilien, on comprend donc que la baisse des vitesses enregistrée entre 2000 et 2007 est potentiellement néfaste pour l'économie de l'Ile-de-France. Elle pourrait constituer une source de « *désagglomération* » (Anas et al. 1998, Thisse Lafourcade 2008) et justifier à terme un éclatement plus prononcé du noyau parisien.

Si on s'intéresse aux niveaux d'accessibilité caractérisant les différentes catégories socioprofessionnelles, ces résultats sont également importants. Wenglenski (2002) a démontré pour

⁷⁰ On a vu que le nombre relatif et absolu de véh*km parcourus en dessous de 20 km/h avait très sensiblement augmenté entre les deux dates. Sachant que ces véh*km sont les plus polluants (Prud'homme et al. 2008), il devrait y avoir là un sur-rejet de CO₂. A l'opposé, le nombre de véh*km parcourus à de fortes vitesses a diminué suite à l'introduction des radars. On a là une économie de rejets polluants. Il est donc très difficile de se faire une réelle idée du solde final.

⁷¹ Le réchauffement climatique est un problème global, la pollution atmosphérique de Paris et de ses environs ne dépend bien entendu pas uniquement de la circulation sur le BPP.

l'Ile-de-France que le nombre d'emplois potentiellement accessibles était moindre pour les ouvriers et les employés comparativement aux cadres. Le recul des vitesses, en plus de générer des pertes de temps supplémentaires, possède donc un caractère régressif en diminuant l'« *égalité des possibles* » face aux conditions de transport. Il est possible de croiser ce constat d'iniquité sociale avec les apports théoriques de l'économie spatiale. Le fort pouvoir d'achat qu'ont les catégories socioprofessionnelles supérieures, conjugué au renchérissement du coût des déplacements, pourraient expliquer la forte « *demande pour la densité* » que rencontrent aujourd'hui les grandes villes mondiales, y compris Paris (Glaeser et al. 2001). Si un tel phénomène tend à rendre les villes plus « *compactes* » (et éventuellement plus « *durables* »), il ne va pas sans générer des tensions sociales au sein du tissu urbain (Donzelot 2004).

5.2 – Un péage urbain sur le BPP ?

Les économistes disposent d'instruments pour internaliser les externalités. Le principe général de ces instruments consiste à faire concilier équilibres effectifs et optimaux afin d'annihiler la perte sèche. La congestion routière provient de la non prise en compte par les automobilistes du coût social de leur déplacement. Un péage urbain doit par conséquent permettre aux usagers d'intégrer la totalité du coût de leurs décisions.

Depuis quelques années, les mises en pratique de ces recommandations théoriques se sont multipliées. Des grandes villes comme Singapour, Londres ou Stockholm se sont ainsi essayées aux péages urbains⁷². Les pouvoirs publics envisagent aujourd'hui de modifier le cadre légal relatif à la tarification des transports afin de rendre possible l'instauration d'un péage urbain (Conseil d'Analyse Stratégique 2008). Bien que ce ne soit pas son objet principal, cet article offre quelques informations sur le cas du BPP. Connaissant son importance dans le réseau de transport régional (et national), il constituerait en effet une cible privilégiée.

L'internalisation de la congestion routière passe par la réduction du nombre de véh*km de la quantité d'équilibre effectif à la quantité optimale. Dans le langage de la figure 1 (section 2.1), il faut ramener X à Y. La taxe qui permet cette correction est dite « *pigouvienne* » : elle correspond au montant du coût marginal de congestion (BE)⁷³. Notre modélisation permet de différencier ce coût marginal selon la vitesse de circulation du BPP au moment où arrive le véh*km marginal. Il s'agit de la différence

⁷² Leurs implémentations et leur efficacité sont variables selon les cas étudiés mais également les méthodologies d'évaluation retenues (Santos 2005, Raux 2007, Prud'homme Kopp 2007).

⁷³ Certains auteurs remettent en cause la tarification marginale et lui préfèrent la tarification au coût moyen (Rothengatter 2003). Dans le cas présent, nous avons vu que ce coût moyen était de 0,057 €/véh*km, valeur trop faible à nos yeux. Le parcours moyen de 8 km ne coûterait « *que* » 0,6 €.

entre S(q) et I(q) (section 2.2). Le tableau 15 propose une grille de tarification du BPP en reprenant les coûts marginaux de congestion calculés pour 2007 :

Tableau 15 – Grille de tarification selon la vitesse sur le BPP (2007)

Vitesse (km/h)	Taxe (€/véh*km)	Vitesse (km/h)	Taxe (€/véh*km)
2,5	5,120	42,5	0,179
7,5	1,602	47,5	0,145
12,5	0,916	52,5	0,117
17,5	0,623	57,5	0,092
22,5	0,454	62,5	0,072
27,5	0,348	67,5	0,054
32,5	0,275	72,5	0,039
37,5	0,221	85,8	0,008

Ces chiffres sont un exemple supplémentaire de l'importance qu'ont les véh*km parcourus au sein des classes de vitesse basses dans notre modélisation de la congestion. Il est par ailleurs possible de calculer qu'un parcours de 8 km réalisé aux alentours de la vitesse moyenne coûterait 1,43 € à son conducteur, montant relativement raisonnable mais représentant malgré tout à 50 % du coût privé. Aux heures de « *pointe* », une telle grille de tarification serait certes plus coûteuse mais encore loin du tarif londonien (plus proche de 8 €). On a vu que la vitesse moyenne y était de 27,5 km/h. Le même parcours de 8 km coûterait alors un peu moins de trois euros⁷⁴. Aux heures « *creuses* » enfin, le péage serait proche de 1 €⁷⁵. Au final, on peut avancer que l'instauration d'un péage urbain sur le BPP permettrait de dégager plus de 360 M€ par an⁷⁶, montant potentiellement disponible pour le financement du réseau de transports en commun régional (Crozet 2007)⁷⁷.

Plus que de par le montant du péage à acquitter, il est possible que la mise en place d'un tel système soit compliquée par des difficultés techniques. Il a ainsi été démontré que le niveau actuel des coûts d'implémentation pouvait mitiger l'évaluation économique finale du projet (Prud'homme Bocajero 2005). Un autre problème relatif à une grille de tarification de cette sorte tient à l'instabilité du signal envoyé aux conducteurs. Comme avec l'exemple de la politique de CSA, il est probable que l'efficacité des péages urbains dépende en grande partie des effets d'apprentissage de la part des automobilistes. Pour que la grille du tableau 15 puisse avoir un effet, il faudrait que les conducteurs

⁷⁴ Bien évidemment, ces péages seraient mécaniquement plus élevés avec une valeur du temps supérieure (10,1 €/h en 2007 pour l'Ile-de-France).

⁷⁵ Ces calculs ne remettent nullement en cause le caractère régressif évident que comporterait cette régulation par les prix (Glachant 2005), nous avons déjà brièvement abordé ce point par ailleurs. L'acceptabilité sociale des péages urbains est très certainement la condition nécessaire à leurs réussites et ne peut être exclue de la réflexion.

⁷⁶ Ce chiffre est une approximation. Nous avons vu dans la section 3.2 que le BPP était utilisé en moyenne 20 % « *de trop* » environ. En retirant 20% au nombre de véh*km parcourus dans chaque classe de vitesse et en y appliquant la grille du tableau 15, on trouve cette somme.

⁷⁷ Ce montant correspond à la surface PMBE sur le graphique 1. C'est aussi le montant qu'auraient avancé les tenants de la vision « *internalisante* » de la congestion. On voit dans ce cas que la recette du péage est plus de deux fois supérieure à la perte sociale de congestion estimée.

envisageant d'emprunter le BPP puissent connaître quelles seront les conditions de circulation au moment de leur arrivée sur l'infrastructure. Une solution simple consisterait à moduler le péage selon les périodes de la journée, comme nous venons de le faire précédemment. Il est également envisageable de faire varier la tarification selon les différentes journées de la semaine à l'instar de l'expérience menée sur l'A1. Le renouvellement du parc automobile français en faveur des véhicules « *intelligents* » ou bien les développements de la téléphonie mobile sont enfin d'autres options. Elles sont surtout les plus proches et les plus prometteuses « *pour en finir avec les encombrements* » (de Palma et al. 2005).

La mise en place d'un péage urbain sur le BPP apparaît donc de plus en plus réalisable. Mais si nous avons estimé quelle était la perte sociale causée par la congestion de cette infrastructure, nous n'avons pas encore mis le montant de cette perte en relief avec les bénéfices qu'engendre le BPP. Il pourrait s'agir là du réel enjeu associé au péage urbain : quel est le manque à gagner du caractère sous-optimal de l'utilisation du BPP ? Rappelons que cette sous-optimalité concerne environ 20 % de sa fréquentation quotidienne. Pour les économistes, le bénéfice social généré par le BPP correspond à la surface OXAR de la figure 1 : la somme des heures de conduite, des coûts fixes d'utilisation et du surplus du consommateur. Il est possible de montrer que le BPP a procuré une utilité équivalente à 1 600 M€ (voir Annexe). L'enjeu du péage urbain est alors de 10 % environ, chiffre non négligeable et certainement sous-évalué car ne prenant pas en compte les pertes environnementales liées à sa sur-utilisation.

Comme pour tout travail scientifique, les chiffres et les conclusions apportés ici méritent commentaires et améliorations. Nous considérons toutefois cette étude de cas sur le BPP comme instructive. Parce que la congestion routière constitue une entrave vers le développement durable et génère une perte sociale, il faut être en mesure d'en cerner l'ampleur. Certains regrettent à ce propos, et ce malgré la reconnaissance d'un certain renouveau⁷⁸, le manque d'évaluations économiques relatives au domaine des transports (Orfeuil 2008). Comme nous venons de le voir, les divergences méthodologiques mènent pourtant à des résultats profondément différents. Un tel constat nous paraît d'autant plus préoccupant que la réflexion qui doit être menée autour d'une question si primordiale qu'est celle de la mobilité se doit d'être « *laïque* » (Orfeuil 2008). En offrant une voix supplémentaire, le présent travail contribuera peut-être à cette réflexion.

⁷⁸ La récente publication des « Cahiers de l'Evaluation » (2008) va dans ce sens.

Bibliographie

A. Anas, R.J. Arnott, K.A. Small (1998). "Urban Spatial Structure", *Journal of Urban Economics*, vol. 47 (2), pp. 165-179.

R. Arnott, A. de Palma, R. Lindsey (1990). "The Economics of Bottleneck", *Journal of Urban Economics*, vol. 27, pp. 111-130.

G. Becker (1965). « A Theory of Allocation of Time », *Economic Journal*, n°75, pp.493-517.

J.P. Berthier (1998). « Congestion urbaine : un modèle de trafic de pointe à courbe débit-vitesse et demande élastique », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n° 34, pp. 3-29.

A. Bonnafous (1992). « Transports et environnement-comment valoriser et maîtriser les effets externes ? », *Economie et Statistique*, n° 258-259, pp. 121-128.

J.K. Brueckner (2000). "Urban Sprawl : Diagnosis and Remedies", *International Regional Science Review*, vol.23, n° 2, pp. 160-171.

R. Cervero (2001). "Efficient Urbanisation : Economic Performance and the Shape of the Metropolis", *Urban Studies*, vol. 38, n° 10, pp. 1651-1671.

CEMT-OCDE (2007). *Managing Urban Traffic Congestion*, Presses de l'OCDE, Paris, 296 p.

G. Chevasson (2007). « L'influence relative des différentes valeurs tutélaires : une étude par la sensibilité des indicateurs socio-économiques » dans J. Maurice et Y. Crozet (eds.), *Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport*, Economica, pp. 191-220.

Commission Européenne (2007). *Livre Vert sur les Transports Urbains*, sous la référence COM(2007)551 final, disponible sur le site internet de la Commission.

Commissariat Général au Plan (2001). *Transport : choix des investissements et coûts des nuisances*, La documentation française, Paris.

Conseil d'Analyse Stratégique (sous la direction d'O. Paul-Dubois Taine, 2008). *Péages urbains : Principes pour une loi*, site internet du CAS, <http://www.strategie.gouv.fr>, 134 p.

Y. Crozet (2007). « Transport et mobilité durable en Ile-de-France : enjeux et issues », *Pouvoirs Locaux*, n° 73(2), pp. 71-76.

CSA/Crédit Agricole (2008). *Les français et l'automobile*, sondage n° 0801065, 106 p.

L. Davezies (2008). « Paris s'endort... », Site internet *la Vie des Idées*, <http://www.laviedesidees.fr/Paris-s-endort.html>.

M. Didier, R. Prud'homme (2007). *Infrastructures de transport, mobilité et croissance*, Rapport au Conseil d'Analyse Economique, La documentation française, Paris, 242 p.

Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France (2002). *Enquête Globale des Transports : Les déplacements des franciliens en 2001-2002*, 43 p.

- J. Donzelot (2004). « La ville à trois vitesses : gentrification, relégation et péri-urbanisation », *Esprit*, n°3-4, pp. 14-39.
- G. Dupuy (2006). *La dépendance à l'égard de l'automobile*, PREDIT, La documentation française, Paris, 93 p.
- G. Duranton, D. Puga (2004). « Micro-foundations of urban agglomeration economies » in J. Henderson, J.F. Thisse (eds.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, vol. 4, Amsterdam, North Holland, 2063-2117.
- F. Gilli (2005). « La région parisienne entre 1975 et 1999 : une mutation géographique et économique », *Economie et Statistiques*, n° 387, pp. 3-33.
- M. Glachant (2005). « Un péage urbain à Paris ? Une évaluation des effets distributifs de quatre scénarios ». *working papers Cerna*.
- E. Glaeser (2008). *Cities, Agglomeration and Spatial Equilibrium*, Lindhal Lectures, Oxford University Press, 288 p.
- E. Glaeser (2007). « The Economic Approach to Cities », *NBER working papers*, n° w13696.
- E. Glaeser, M. Kahn (2003). « Sprawl and Urban Growth », *NBER working papers*, n° w9733.
- E. Glaeser, J. Kolko, A. Saiz (2001). « Consumer City », *Journal of Economic Geography*, vol. 1, n° 1, pp. 27-50.
- P.B. Goodwin (1992). « A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes », *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 26, n° 2, pp. 155-169.
- INFRAS-Zurich & IWW-Karlsruhe. (2000). *External Costs of Transport : Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe*, 140p.
- N. Layard (2007). *Le prix du bonheur : leçons d'une science nouvelle*, Armand Collin, Paris, 316 p.
- F. Leurent (2005). « Un modèle dynamique de trafic pour l'analyse économique de la congestion », *Routes Roads*, AIPCR, pp. 46-53.
- D. Mangin (2004). *La ville franchisée : formes et structure de la ville contemporaine*, Editions de la Villette, 480 p.
- Ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer (2004). *Instruction-cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport*, mise à jour le 27 mai 2005.
- D. Newberry, G. Santos (2002). « Estimating Urban Road Congestion ». *CEPR working paper*, Londres.
- J.P. Orfeuil (2008). *Une approche laïque de la mobilité*, Descartes & Cie, Paris, 173 p.
- Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière (2006). *Synthèse-Impact de la politique de Contrôle Sanction Automatisé (2003-2005)*.

- A. de Palma, S. Pahaut, E. Quinet (2005). « Pour en finir avec les encombrements ». *Futuribles*, n° 311.
- R. Prud'homme, P. Kopp, P. Bocajero (2005). « Evaluation économique de la politique parisienne des transports », *Revue Transports*, n° 434, pp.346-359.
- R. Prud'homme, Sun Y. M. (2000). « Le coût économique de la congestion du périphérique parisien : une approche désagrégée ». *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n° 37, pp. 59-73.
- R. Prud'homme, M. Koning, P. Kopp (2008). « Paris : un tramway nommé désir », *Revue Transports*, n° 447, pp. 28-39.
- R. Prud'homme, C.W. Lee (1999). « Size, Sprawl, Speed and the Efficiency of Cities », *Urban Studies*, n° 11, pp. 1849-1858.
- R. Prud'homme, P. Kopp (2007). « Le péage de Stockholm : évaluation et enseignement », *Revue Transports*, n° 443, pp. 175-189.
- R. Prud'homme, P. Bocajero (2005). « The London Congestion Charge : a Tentative Economic Appraisal », *Transport Policy*, vol. 12, n° 3, pp. 279-288.
- E. Quinet, R. Vickerman (2004). *Principles of transport economics*, Edward Elgar Publishing, London, 385 p.
- C. Raux (2007). *Le péage urbain*, PREDIT, La documentation française, Paris, 92 p.
- W. Rothengatter (2003). « How Good Is First Best ? Marginal Cost and Other Pricing Principles for User Charging Transport ». *Transport Policy*, vol 10, pp. 121-130.
- M.P Rousseau (1998). *La productivité des grandes villes*, Anthropos, Paris, 203 p.
- G. Santos (2005). « Urban Congestion Charging : a Comparison between London and Singapore », *Transport Reviews*, vol. 25, n° 5, pp. 511-534.
- Section de la Voierie et des Déplacements de la Mairie de Paris (2007), *Plan de Déplacements de Paris*, disponible sur le site internet de la Mairie de Paris, http://www.paris.fr/portail/deplacements/portal.lut?page_id=14, 178 p.
- Section de la Voierie et des Déplacements de la Mairie de Paris (2007), *Bilan des Déplacements*, disponible sur le site internet de la Mairie de Paris, http://www.paris.fr/portail/deplacements/Portal.lut?page_id=7627&document_type_id=4&document_id=26324&portlet_id=17647&multileveldocument_sheet_id=11982, 57 p.
- Section de la Voierie et des Déplacements de la Mairie de Paris (2001), *Bilan des Déplacements*, disponible sur le site internet de la Mairie de Paris, http://www.paris.fr/portail/deplacements/Portal.lut?page_id=7627&document_type_id=4&document_id=26324&portlet_id=17647&multileveldocument_sheet_id=4673, 32 p.
- J.F. Thisse, M Lafourcade (2008). “New Economic Geography : a Guide to Transport Analysis”, *PSE working papers*, n°2008-2.

Union Routière Française (2007). *Faits et chiffres 2006 -statistiques du transport en France* , n°06-01, Paris, 98 p.

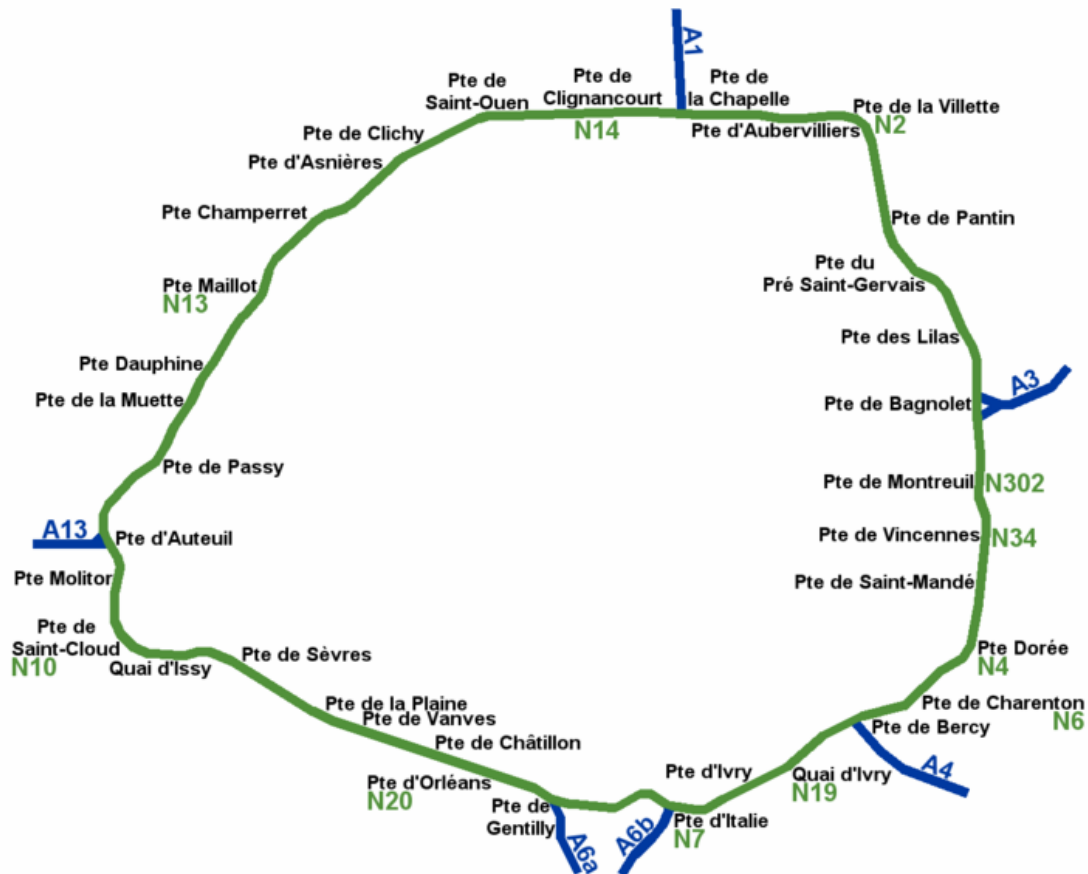
W.S. Vickrey (1969). “Congestion Theory and Transport Investment”, *American Economic Review*, vol. 59, pp. 251-260.

S. Wenglenski (2002). « Parcours effectifs à l’emploi versus accès potentiel à l’emploi : une mesure de la contrainte des actifs dans la métropole parisienne ? », *38^{ème} Colloque annuel de l’ASRDLF*, 21-23 aout 2002, Trois Rivières, Canada.

N. Zaouali, A. de Palma (2007). “Estimation des coûts marginaux externes : cas du transport de personnes en Ile-de-France”, *43^{ème} Colloque annuel de l’ASRDLF*, 11-13 juillet 2007, Grenoble-Chambéry, France.

Annexes

Annexe 1 - Boulevard Périphérique Parisien (BPP) et base de données



La base de données fournie par la Division de la Voierie et des Déplacements de la Mairie de Paris (Section Tunnels, Berges et Périphérique) est très riche en informations. Elle indique, pour toutes les périodes de 6 minutes d'une journée et tous les tronçons de 500 mètres composant le BPP, les flux horaires, les taux d'occupation et les vitesses enregistrés par un système de capteurs (« boucles ») placées sous la chaussée.

Comme il est quasi-impossible de pouvoir compiler des données pour l'ensemble d'une année, seules les journées correspondant aux mardis et aux jeudis des mois de juin et d'octobre ont été choisies. Le choix s'est porté sur ces dates car elles sont considérées comme « moyennes » par les agents de la Mairie (Bilan des Déplacements 2001, 2007). Nous avons également fait le choix de nous intéresser au BPP sans regarder les différences entre les deux sens de circulation (Périphérique Intérieur, Périphérique extérieur)

Pour pouvoir désagréger notre modélisation- option nous autorisant par la suite une bien plus grande finesse d'analyse- nous avons découpé la base de données selon les dimensions temporelle et géographique. Une journée comporte 5 créneaux horaires (00-7h, 7-10h, 10-17h, 17-20h, 20-00h). Deux représentent les heures de « *pointe* » (7-10h et 17-20h), les autres les heures « *creuses* ».

Nous avons ensuite décomposé le BPP en 4 zones géographiques (tableau 16) :

Tableau 16 – Zones géographiques du BPP

Zones	Portes correspondantes	Etendue
Nord	De Champerret à Chaumont (20)	10 km
Est	De Prés St-Gervais à Canal (16)	8 km
Sud	De Quai d'Ivry à Quai d'Issy (20)	10 km
Ouest	De Pontaval à Ternes (15)	7,5 km

Ce premier travail a permis de constituer des zones-créneaux. C'est pour cette unité de référence que nous souhaitons connaître le nombre de véh*km parcourus. Le calcul des distributions de vitesse ne portera que sur les échelles d'observation supérieures (zones et créneaux)⁷⁹.

Nous avons nettoyé cette nouvelle base car elle était entachée de nombreuses informations défaillantes. Les ruptures de séries proviennent essentiellement des défections rencontrées au niveau des capteurs, défections pouvant avoir plusieurs origines (travaux, stationnement sur un capteur, coupure électrique, accidents prolongés...). Dans ce cas, le fichier Text indique la nature de l'erreur par un cigle. D'autres défaillances relèvent plus d'incohérences statistiques. C'est ainsi le cas lorsqu'un flux passe, en l'espace de 6 minutes, de 7000 véh/h (700 véh/6 min) à un autre de 30 véh/h alors même que la vitesse correspondante s'élève à 80 km/h et le taux d'occupation est important. Ces incohérences peuvent survenir à n'importe quel moment de la série, prendre différentes formes, et sont dures à détecter en s'aidant d'un logiciel de programmation. Nous avons donc épiluché visuellement l'intégralité de la base, mettant de côté les séries de piètre qualité et ne gardant que celles intactes.

Après avoir effectué ce premier tri, nous avons dû normaliser nos unités d'observation. Les différentes zones ne possédaient en effet plus le même nombre de tronçons, les tronçons plus le même nombre de créneaux (idem concernant les sens de circulation)... Pour ce faire nous avons dû arbitrer entre deux

⁷⁹ Ce choix a été pris par souci de simplification. Il aurait en effet été possible de calculer des distributions de vitesse pour toutes ces zones-tronçons. L'observation la plus fine aurait même pu répliquer le travail sur des tronçons-créneaux de longueur plus faible. Nous pensons qu'avoir les distributions de vitesse selon que les heures soient « *creuses* » ou de « *pointe* » déjà est amplement suffisant. Trop de désagrégation peut certainement nuire à l'observation d'un phénomène comme la congestion routière nécessitant par définition un minimum d'approche holiste.

dimensions : le nombre de journées d'observation et le nombre de tronçons au sein de chaque zone. Le choix final a porté sur 6 journées d'observation (3 en juin et 3 octobre, 3 mardis et 3 jeudis). Un nombre supérieur aurait fait chuter sensiblement le nombre de tronçons valables pour chacune des zones. Le nombre de postes disponibles pour la section Est aurait été de 6 si nous avions retenu 8 journées. Au final, la section Nord compte 14 de ses 20 tronçons initiaux, la section Est 9 sur 16, la section Sud 13 sur 20, la section Ouest 13 sur 15.

Partant de là, nous avons calculé le nombre de véh*km parcourus pour chaque zone-créneau durant ces 6 journées d'observation (en extrapolant pour le nombre de portes manquantes par zone), puis ramener ce chiffre à une moyenne quotidienne (tableau 17). A partir de ce moment, il a été possible de calculer les ratios relatifs à l'importance des différents créneaux horaires ou zones géographiques. Nous avons ensuite pu calculer la distribution des vitesses selon les deux types de créneaux horaires (« *pointe/creuses* » ; tableau 18), les zones géographiques (tableau 19) et l'ensemble du BPP (tableau 3). Concernant les estimations issues des Indicateurs Généraux que nous présentons dans l'article, nous n'avons fait qu'extrapoler les chiffres issus de ces Indicateurs avec les distributions géographiques et temporelles déduites de la base zone-créneau. Les résultats sont donc mécaniquement calqués sur les nôtres.

Au final, on peut comprendre les raisons qui font diverger nos chiffres ré-agrégés des Indicateurs Généraux. Les différences proviennent certainement d'un léger biais de sélection du aux journées étudiées. Nous n'avons en effet travaillé qu'à partir des mardis et jeudis, journées dont le trafic moyen est supérieur à celui d'une journée de week-end (Bilan des Déplacements 2000, 2007). Ce constat est également valable pour les vitesses moyennes et pour la hausse de la part relative du créneau matinal (07-10h). Pour pouvoir travailler sur des données annuelles, nous avons extrapolé nos résultats par rapport aux 365 jours composant une année, pratique qui explique selon nous les différences que nous rencontrons.

Nous avons vu que cette divergence statistique avait des implications sur la nature du recul de la circulation à expliquer. Ce point est problématique mais ne signifie pas pour autant que nos suggestions soient fausses. Elles sont d'autant plus valables qu'elles portent sur des jours de semaine, lorsque le trafic est plus intense. De plus, les estimations du coût social de congestion restent dans un ordre de grandeur comparable. On peut en fait imaginer que le « *vrai* » trafic, la « *vraie* » vitesse et donc le « *vrai* » coût de congestion se situe quelque part entre les deux seuils auxquels nous aboutissons. Il en est de même des tendances commentées.

Tableau 17 – Répartition du trafic journalier (véh*km) sur le BPP selon les créneaux horaires et les zones géographiques (2000/2007)

2000					
	Ensemble	Nord	Est	Sud	Ouest
00-07h	936604	260690	248695	235920	191299
07-10h	1142724	348618	258683	261995	273428
10-17h	3129214	922007	805080	710329	691798
17-20h	1266363	389459	330351	288192	258360
20-00h	1355375	396135	340296	328873	290071
Total quotidien	7830281	2316909	1983105	1825311	1704956
Total annuel	2858052460	845671802	723833230	666238431	622308996
2007					
00-07h	933716	266021	250898	228331	188466
07-10h	1237887	367438	274112	289619	306718
10-17h	3016228	899565	747099	683706	685858
17-20h	1215705	372977	303048	273002	266677
20-00h	1257197	378664	320720	282842	274971
Total quotidien	7660733	2284665	1895877	1757501	1722690
Total annuel	2796167385	833902573	691995064	641487982	628781766

Tableau 18 – Distribution des véh*km selon les classes de vitesse et les créneaux horaires de la journée (2000/2007)

Vitesse (km/h)	2000		2007	
	« Pointes »	« Creuses »	« Pointes »	« Creuses »
2,5	0,004	0,001	0,004	0,002
7,5	0,030	0,004	0,031	0,013
12,5	0,067	0,011	0,066	0,029
17,5	0,081	0,018	0,083	0,038
22,5	0,075	0,019	0,083	0,038
27,5	0,070	0,021	0,075	0,036
32,5	0,065	0,022	0,065	0,033
37,5	0,048	0,020	0,052	0,027
42,5	0,040	0,019	0,035	0,020
47,5	0,035	0,018	0,028	0,018
52,5	0,025	0,018	0,029	0,022
57,5	0,026	0,028	0,045	0,037
62,5	0,029	0,043	0,067	0,079
67,5	0,039	0,067	0,093	0,156
72,5	0,051	0,096	0,102	0,202
85,8	0,320	0,612	0,130	0,249

Tableau 19 – Distribution des véh*km selon les classes de vitesse et les zones géographiques du BPP
(2000/2007)

Vitesse (km/h)	2000				2007			
	Nord	Est	Sud	Ouest	Nord	Est	Sud	Ouest
2,5	0,001	0,000	0,004	0,001	0,001	0,002	0,004	0,000
7,5	0,006	0,008	0,025	0,011	0,005	0,013	0,032	0,006
12,5	0,015	0,029	0,041	0,030	0,016	0,028	0,060	0,017
17,5	0,023	0,033	0,053	0,044	0,033	0,036	0,051	0,036
22,5	0,028	0,033	0,042	0,046	0,035	0,035	0,045	0,040
27,5	0,028	0,033	0,038	0,047	0,031	0,035	0,046	0,035
32,5	0,027	0,038	0,036	0,036	0,032	0,035	0,036	0,028
37,5	0,025	0,030	0,031	0,029	0,028	0,029	0,026	0,024
42,5	0,023	0,030	0,026	0,022	0,017	0,025	0,021	0,016
47,5	0,018	0,029	0,023	0,016	0,013	0,025	0,022	0,013
52,5	0,015	0,029	0,024	0,013	0,014	0,032	0,029	0,014
57,5	0,018	0,040	0,036	0,016	0,027	0,046	0,056	0,023
62,5	0,030	0,050	0,049	0,025	0,063	0,094	0,096	0,066
67,5	0,055	0,069	0,065	0,043	0,171	0,154	0,149	0,144
72,5	0,090	0,090	0,080	0,065	0,202	0,201	0,183	0,220
85,8	0,597	0,459	0,428	0,555	0,313	0,210	0,142	0,319

Annexe 2- Exemple de calcul du coût social de congestion pour une classe de vitesse (5-10 km/h)

Les calculs suivants se réfèrent à la classe de vitesse 10-15 km/h pour l'année 2007. Pour obtenir le coût total de la congestion du boulevard périphérique il suffit de répliquer cette démarche à l'ensemble des classes de vitesse (tableau 3). Nous connaissons les coordonnées des points nécessaires au calcul de la surface (LGEP-AGB) sur la figure 1 :

$$X = 327 \text{ véh/km}$$

$$Y = 265 \text{ véh/km}$$

$$L = I(327) = 1,467 \text{ €/km}$$

$$M = S(265) = 1,808 \text{ €/km}$$

$$P = I(265) = 0,555 \text{ €/km}$$

On a donc :

$$\text{Coût kilométrique}_{5-10} = \text{LGEP} - \text{AGB} = Y*(L-P) - (M-L)*(X-Y)/2 = 231,075 \text{ €/km}$$

Il s'agit du coût économique de congestion engendré par 292 véhicules sur un kilomètre du boulevard (roulant de ce fait à 7,5 km/h au lieu de 23,2 km/h). On le transforme en un coût unitaire de congestion (€/véh*km) en le divisant par le nombre de véhicules présents sur ce kilomètre :

$$\text{Coût unitaire}_{5-10} = 231,075/327 = 0,706 \text{ € /véh*km}$$

Il nous reste à multiplier ce coût unitaire par le nombre total de véh*km effectués en 2007 à la vitesse moyenne de 7,5 km/h (tableau 3) :

$$\text{Coût économique}_{5-10} = 0,706 * 37\,360\,000 = 26,38 \text{ M€}$$

Ce chiffre représente ce qu'a perdu en 2007 la société à ce que 37,36 M véh*km aient été parcourus sur le BPP à une vitesse réduite par la congestion. Pour être tout à fait précis, nous devons encore corriger cette perte. Il ne faut pas oublier que chaque véhicule est occupé par 1,3 individus en moyenne. Par ailleurs, 20 % de la circulation francilienne est le fait de véhicules utilitaires ou professionnels à la valeur du temps supérieure (31,4 €/h au lieu de 10,1 €/h). Un calcul simple (voir note 19) montre qu'il faut alors considérer un coefficient de 1,278. La « vraie » perte sociale causée par la congestion routière du périphérique à la vitesse moyenne de 7,5 km/h est donc :

$$\text{Coût réel}_{5-10} = 26,38 * 1,278 = 33,71 \text{ M €}$$

Annexe 3 – Calculs divers

Nous explicitons maintenant les principes pour comparer les résultats de notre modélisation avec ceux issus d'autres méthodologies (tableau 14). Nous présentons également les calculs relatifs au surplus global généré par le BPP (section 5.2).

« *Route vide* » - Nous savons grâce à la relation vitesse-densité (équation (4')) que la vitesse autorisée par le BPP lorsque la densité est nulle correspond à 90,3 km/h. Il est possible de rapporter cette vitesse par rapport au nombre de véh*km parcourus en 2000 et 2007 et trouver ainsi le nombre d'heures qui auraient été « consommées ». On compare ce résultat avec le nombre d'heures effectivement passées sur le BPP, ce qui nous donne le temps perdu qu'on valorise ensuite en reprenant le coût d'opportunité du temps correspondant et le coefficient d'extrapolation (note 19). Cela nous donne le coût social de la congestion routière. Le tableau 20 récapitule ces données :

Tableau 20 – Résultats associés à la méthode de la « route vide »

	2000	2007
Nbre d'heures avec « route vide » (M)	31,65	30,96
Nbre d'heures effectif (M)	62,30	64,28
Différence (M)	30,65	33,32
Coût congestion (M€)	376	430

Flux maximum et vitesse optimale – Nous avons vu que la vitesse optimale correspondant au flux maximum sur le BPP était de 55,6 km/h (tableau 2). Le principe général de la démarche à suivre est le même que celui que nous venons d'exposer pour la « route vide » : comparer le nombre d'heures qui auraient été « consommées » à cette vitesse à celui effectivement observé, puis valoriser la différence. Le tableau 21 synthétise ces résultats :

Tableau 21 – Résultats associés à la méthode « flux maximum/ vitesse optimale »

	2000	2007
Nombre d'heures avec vitesse optimale (M)	51,40	50,29
Nbre d'heures effectif (M)	62,30	64,28
Différence (M)	10,90	13,99
Coût congestion (M€)	134	181

Avec les coûts unitaires INFRAS – Nous reprenons les coûts unitaires avancés par l'INFRAS (2000) et les appliquons à nos données de trafic. Les coûts unitaires en question ont été produits pour 2000. Ne connaissant pas leurs valeurs pour 2007, nous avons pris la décision de les garder constants, ce qui revient à sous-estimer la perte. INFRAS (2000) propose deux coûts unitaires suivant les conditions de circulation : 3,10 €/ véh*km lorsque la route est congestionnée et 2,70 €/ véh*km lorsque le trafic est dense.

Nous avons du prendre une deuxième décision : sélectionner les véh*km issus de notre base qui peuvent être considérés comme congestionnés ou bien réalisés dans des conditions de trafic dense. Pour ce faire, nous n'avons retenu que les véh*k parcours sur le BPP à moins de 20 km/h (tableau 5). Nous avons ensuite répartis ces véh*km de manière égale entre les deux catégories puis appliqué les coûts unitaires ainsi que les coefficients pour prendre en compte les véhicules utilitaires. Ce calcul n'est donc qu'une approximation et mériterait plus de sérieux. Il est très certainement sous-évalué car,

en plus de la constance de la valeur du temps, il est fort probable que des véh*km parcourus sous les 40 km/h puissent correspondre à un régime « dense ». Le tableau 22 présente néanmoins les résultats :

Tableau 22 – Résultats en reprenant les coûts unitaires de l'INFRAS

	2000	2007
Véh*km parcourus en trafic « dense » (M)	112	115
Véh*km parcourus en trafic « congestionné » (M)	112	115
Coût congestion (M€)	857	853

Surplus généré par le BPP en 2007 – Le surplus total généré par le BPP correspond à la surface RAXO de la figure 1 : il comprend les heures consommées par les automobilistes, les coûts fixes d'utilisation ainsi que le surplus du consommateur (différence entre la disponibilité à payer représentée par la courbe de demande et le prix réellement payé).

Nous connaissons facilement le nombre d'heures « consommées » sur le BPP en 2007 (64,28 Mh) ainsi que la somme des coûts fixes ($=0.12*2\,777\,000\,000$). La somme de ces deux grandeurs correspond à 985 M€ environ. Pour calculer le surplus des consommateurs, il nous faut le point R sur la figure 1. Celui-ci se trouve via les différentes droites de demande (il s'agit de b dans notre équation (1)). Il ne reste plus qu'à calculer la surface ALR pour chacune des classes de vitesse. Nous trouvons alors un surplus du consommateur égal à 615 M€ environ.

Au final, le surplus total que dégage le BPP est égal à 1 600 M € ($=985+615$). Si on rapporte le coût social de congestion à ce montant, on trouve un ratio de 10 % ($160/1600$).