

## Chapitre 4

### Hypothèses de base et questions soumises à examen

Marc Gaudry<sup>1</sup>

Émile Quinet<sup>2</sup>

#### Résumé

Nous proposons une liste de sujets soumis à discussion, relatifs à l'évaluation économique des grands projets d'infrastructure, en nous appuyant particulièrement sur les spécificités du projet « Grand Paris Express » de métro automatique régional. Ces sujets, présentés sous la forme d'affirmations à confirmer et de questions à résoudre, sont articulées autour de trois thèmes : les propriétés des modèles de demande, les effets sur la structure urbaine au sens large et les modifications à apporter aux méthodes d'évaluation usuelles.

---

<sup>1</sup> Agora Jules Dupuit (AJD), Université de Montréal, Canada.

<sup>2</sup> Paris-Jourdan Sciences Économiques (PSE), École des Ponts ParisTech (ENPC), France.



## **1. Introduction: D'une analyse partielle à une analyse plus globale**

### Une analyse partielle et à la marge

L'analyse usuelle des projets est fondée sur une modélisation des trafics et sur le calcul du surplus des usagers, censé représenter correctement le surplus collectif sous l'hypothèse que le reste de l'économie fonctionne de manière optimale. Mais cette analyse partielle, limitée au secteur des transports, n'est pas suffisante pour appréhender les conséquences des grands projets, pour lesquels les sources de non-optimalité sont nombreuses.

Cette analyse économique part en fait de l'hypothèse de projets marginaux. La modélisation est limitée aux trafics. Elle met l'accent sur les phases de choix du mode et de l'itinéraire. Elle est beaucoup plus cursive sur les phases de génération et de distribution ; ces deux dernières phases sont souvent réduites à l'hypothèse que la matrice origine-destination est constante. En outre la modélisation se limite souvent aux déplacements domicile-travail.

### L'équivalence entre le surplus du consommateur et le surplus collectif

En matière d'évaluation, et à part une prise en compte des externalités d'environnement, l'intérêt du projet est représenté par le surplus des usagers : le surplus des usagers est bien égal à l'ensemble des surplus engendrés par les transformations subies par l'économie à la suite du projet, mais cette assimilation n'est valable que sous l'hypothèse que le reste de l'économie est à l'optimum. Cette hypothèse n'est jamais rigoureusement remplie, mais elle est particulièrement éloignée de la réalité pour les grands projets urbains.

### Les spécificités des grands projets urbains

En premier lieu, ceux-ci ont un caractère non marginal par l'existence de trafics induits importants qui font que l'hypothèse de constance de la matrice O-D n'est pas réaliste, même à court terme.

Ensuite, ces projets ont à moyen terme des effets de relocalisation et de transformation des structures urbaines (Thisse, 2011). Or ces transformations mettent en jeu des mécanismes qui sont loin d'obéir aux hypothèses de marchés de concurrence parfaite et de tarification – et gestion optimale des biens publics. Par exemple, les marchés du logement fonctionnent avec de nombreuses imperfections ; pour de larges pans de ce marché, la puissance publique intervient en fonction de critères redistributifs. En outre, à côté des externalités négatives traditionnelles, apparaissent en zone urbaine des externalités positives, les effets d'agglomération qui faussent le calcul économique traditionnel.

En outre ces grands projets ont une durée de vie – probable – plus longue que les petits projets, ne serait-ce que par leur plus grande résilience et résistance à des chocs aléatoire<sup>1</sup>. La prise en compte du

futur éloigné ajoute aux difficultés précédentes ; elle oblige à une analyse prospective de l'avenir, et pas seulement à une extrapolation, même raisonnée, des tendances présentes.

Dans ces conditions, l'analyse partielle ne peut rendre compte des conséquences et l'évaluation de l'analyse coût-bénéfice traditionnelle n'est pas valable (DfT, 2008).

Ajoutons aussi les particularités du processus de décision. Plus encore que pour les projets interurbains, la décision est multiple. Elle met en jeu de nombreuses instances entre lesquelles la décision est collective et résulte d'une concertation complexe et aléatoire : les usagers, les organisations associatives (ONG), les groupes de pression, les autorités publiques. La puissance publique elle-même est fragmentée, et ses différents éléments ont souvent des intérêts divergents dans des proportions dépendant largement des arrangements institutionnels<sup>2</sup>.

Dans ces conditions, les principes de l'évaluation doivent être reconsidérés. Sur le plan de l'analyse positive, celle de la connaissance des phénomènes, il faut revoir les modalités de modélisation des trafics, et il est nécessaire d'explicitier les liens entre les transports et le reste de l'économie, une étape dont on pouvait se passer tant que l'hypothèse d'optimalité de l'économie était tenable. Sur le plan de l'analyse normative, c'est-à-dire de l'aide à la décision, il faut reconsidérer la mise en œuvre de l'analyse coût-bénéfice pour l'adapter au contexte du projet et aux spécificités du processus de décision.

Il faut donc développer une analyse des effets du projet sur l'ensemble de l'économie, et pour cela résoudre des problèmes à l'énumération desquels s'attache la présente note, en prenant appui sur l'expérience de l'évaluation du projet de métro automatique « Grand Paris Express » (GPE). Elle abordera successivement la modélisation de la demande, les effets sur la structure urbaine au sens large et les modifications à apporter aux méthodes d'évaluation usuelles.

## 2. Les modèles de demande

Les modèles de demande déterminent les flux de transport sous l'hypothèse de l'exogénéité des activités auxquels ils s'appliquent. Dans le cas de grands investissements, cette exogénéité est mise en défaut sur quatre aspects : les marchés à prendre en compte, la structure du modèle notamment dans la manière de caractériser les options de transport collectif, les propriétés des algorithmes d'affectation, la forme des fonctions d'utilité.

### **Les marchés pertinents : n'y a-t-il que des déplacements domicile-travail à l'heure de pointe ?**

Comme dans beaucoup d'autres agglomérations, les modèles de demande habituellement mis en œuvre en Région Parisienne – ANTONIN-2 (Stif, 2004) et MODUS-2 (DRIEA-IF, 2010) – sont encore largement inspirés du modèle datant de plus de cinquante ans CATS (1959-62) et se concentrent sur les déplacements domicile-travail à l'heure de pointe. Une mise à jour semble nécessaire.

En particulier, la modélisation et d'abord les enquêtes doivent prendre en compte d'autres motifs. Cela est déjà fait dans beaucoup d'agglomérations pour les déplacements d'achats, mais est extrêmement

rarement mis en œuvre pour d'autres motifs tels que par exemple le tourisme, les déplacements personnels et les déplacements hors-pointe<sup>3</sup>. Contrairement aux transports interurbains où la politique commerciale des opérateurs induit de rapides variations de prix et la différenciation des services, avec en particulier l'apparition de services à bas coût, et joue sur les destinations et la fréquence des services, l'offre urbaine est enchaînée aux déplacements domicile-travail, à des tarifs fixes et à l'absence d'innovation dans les services offerts, malgré les succès de mesures éphémères telles que les journées à transport gratuit, qui montrent les possibilités offertes pour le développement des trajets autres que les trajets domicile-travail.

Nous n'allons pas ici traiter complètement des possibilités de développement des marchés de transports collectifs, si ce n'est pour remarquer que les autorités organisatrices encouragent rarement les minibus, les taxis collectifs ou encore les services innovants fondés sur l'initiative privée et le travail à temps partiel<sup>4</sup>. Les modèles de demande usuels reflètent les interdictions réglementaires frappant ces types de services qui pourraient fleurir en dehors des heures de pointe du matin où dominent (d'ailleurs pas tant que cela..) les navetteurs.

### La mesure de Shannon et le logsum pour éviter la sous-estimation des trafics et des surplus

Comme les modèles utilisent majoritairement des fonctions logit, les logsums<sup>5</sup> devraient être utilisés dans les équations (agrégées ou discrètes) définissant les fréquences de déplacements et représentant la valeur de l'offre fournies par les réseaux, comme c'est le cas en général pour les modèles interurbains.

Le danger vient de la pratique courante qui traite raisonnablement le choix modal mais ne donne pas une bonne représentation des réseaux routiers et de transports collectifs. Comme ces modes de transport sont caractérisés par la multiplicité des chemins entre les deux extrémités d'un même couple origine-destination, il est fréquent que ce soit une moyenne pondérée des caractéristiques des chemins qui soit utilisée dans la modélisation. On peut alors démontrer les points suivants :

(i) **La condition de positivité de Daly**: si  $p_c$  est la probabilité de choisir le chemin  $c$ , des modifications de  $V_c$ , utilité du chemin  $c$  (pour par exemple le mode ferroviaire), peut entraîner des changements de signe de  $\bar{V}_p$ , l'utilité moyenne pondérée par les probabilités de tous les itinéraires ferroviaires, avec des conséquences fâcheuses si l'inégalité  $V_c - \bar{V}_p > -1$  n'est pas vérifiée (comme cela arrive souvent) et la condition de Daly (1999) n'est pas satisfaite:

$$(1) \quad \left[ \frac{\partial \bar{V}_p}{\partial V_c} = p_c (1 + V_c - \bar{V}_p) \right] > 0 ;$$

(ii) **Un théorème d'agrégation des chemins**: la différence entre une mesure logsum de l'utilité de plusieurs chemins et la mesure de la moyenne des utilités de ces chemins est égale à la mesure d'information de Shannon, et correspond également à moins l'entropie (Gaudry & Quinet, 2011):

$$(2) \quad \bar{V}_p - \ln \sum_i \exp(V_i) = \sum_i p_i \cdot \ln(p_i),$$

Ce théorème d'agrégation des chemins est un cas particulier d'une formulation plus générale qui indique que toutes les moyennes pondérées des caractéristiques des chemins (avec des pondérations normalisées à l'unité) sous-estiment l'utilité de l'ensemble de ces chemins, et ceci indépendamment de la forme des fonctions d'utilité  $V_i$  forme qui va être examinée maintenant.

L'utilisation de moyennes pondérées des caractéristiques des chemins au lieu du logsum implique que les modèles de demande deviennent peu sensibles, et même aboutissent à des résultats dont le sens est erroné si la condition (1) n'est pas remplie, ce qui se produit spécialement lorsque les projets sont importants, comme c'est le cas pour GPE. Les modèles ne pourront pas donner une bonne rentabilité à GPE si on résume les situations de chemins multiples par des moyennes pondérées de leurs caractéristiques.

Certains modèles ont tenté de prendre en compte le choix entre plusieurs chemins de transport collectif en insérant une structure hiérarchique dans laquelle l'utilité des modes de rang "élevé" est résumée par leur logsum et les modes de rang « inférieur » sont réduits à fournir l'accès aux premiers. C'est par exemple le cas de SAMPERS pour Stockholm (Transek, 1999) et de PRISM pour Birmingham (Rand Europe, 2004), comme l'illustre la Figure A1 de l'Annexe qui discute de cette pratique nouvelle. L'élaboration de telles hiérarchies entre chemins de transport en commun urbain, encore très rares malgré l'ancienneté des hiérarchies entre modes, réduira sans doute l'erreur d'agrégation de Shannon commise par des moyennes mais, comme on l'explicite dans l'Annexe, elle est loin d'être entièrement satisfaisante, à supposer même qu'elle ait un sens dans le cas de l'offre TC pléthorique de la région parisienne où au bas mot dix modes TC sont présents et le bon sens suggère plutôt une structure multinomiale de choix entre itinéraires TC.

### **L'affectation: les algorithmes d'équilibre ont-ils une unique solution? Sont-ils sensibles à la séquence de chargement du réseau ? Ne faut-il pas abandonner Wardrop?**

#### *La critique ignorée de Dafermos*

Le coût pertinent d'un chemin est toujours un coût généralisé. Si on utilise des méthodes d'équilibre pour définir les choix d'itinéraire, deux problèmes se posent avec acuité. En premier, même dans le cas simple où le temps intervient linéairement comme le coût, l'équilibre est unique seulement si les usagers n'ont qu'une seule valeur du temps (Dafermos, 1983). De plus, comme dans l'équilibre de Wardrop les flux sont uniques mais les chemins sont inconnus et non dérivables analytiquement de l'optimum<sup>6</sup>, les questions d'unicité et de reproductibilité (même indépendamment d'un calcul d'agrégation) doivent être explicitement considérées (même avant envisager l'agrégation des chemins utilisés) pour toute affectation par coût généralisé ; en particulier, la solution ne doit pas dépendre de la séquence de chargement du réseau.

#### *La mort lente de l'équilibre de Wardrop*

Dans ces conditions, et au vu de la nécessité d'identifier tous les itinéraires effectivement utilisés en raison du théorème d'agrégation des chemins, on doit s'attendre à ce que les analystes recourent de moins en moins aux méthodes d'affectation par équilibre et utilisent de plus en plus des procédures d'affectations fondées sur le modèle logit : par exemple le prochain programme EMME 3 (Florian & Constantin, 2011) devrait inclure une option en faveur du modèle logit, option qui se trouve déjà dans Cube Voyager (Citilabs, 2008) et VISUM (PTV AG). Ce dernier offre même plusieurs options non-linéaires telles que la distribution suivant la loi de Kirchhoff (Fellendorf & Vortisch, 2010), équivalente à la loi d'Abraham utilisée en France, ou encore la spécification Box-Cox.

## La forme des fonctions d'utilité: s'affranchir de la contrainte de linéarité dès que les changements dans les attributs des trajets changent dans des proportions importantes

### *Courbure et seuils : l'utilité marginale est-elle vraiment constante ?*

Pour les modèles de demande à appliquer aux grands projets, la capacité à traiter correctement de divisions par deux des temps de transport pour les trajets non radiaux ou d'autres changements majeurs dans le niveau de service est une qualité essentielle. De telles réductions des temps de transport soulèvent la possibilité de seuils dans le partage modal, seuils qui ne seraient peut-être pas perceptibles si la transformation se faisait, non pas d'un seul coup, mais par une suite de modifications marginales. La question de la courbure de la fonction de demande devient alors essentielle.

### *Y a-t-il des seuils ou, à plus proprement parler, des asymétries dans la fonction de réponse logit ?*

L'affectation dépend de plusieurs variables, mais est-ce que les variables interviennent linéairement dans la fonction d'utilité ? La plupart des spécifications de qualité de service utilisées dans les modèles logit sont en fait des cas particuliers de la transformation Box-Cox (TBC) qui peut être appliquée à n'importe quelle variable strictement positive  $Var_v$ :

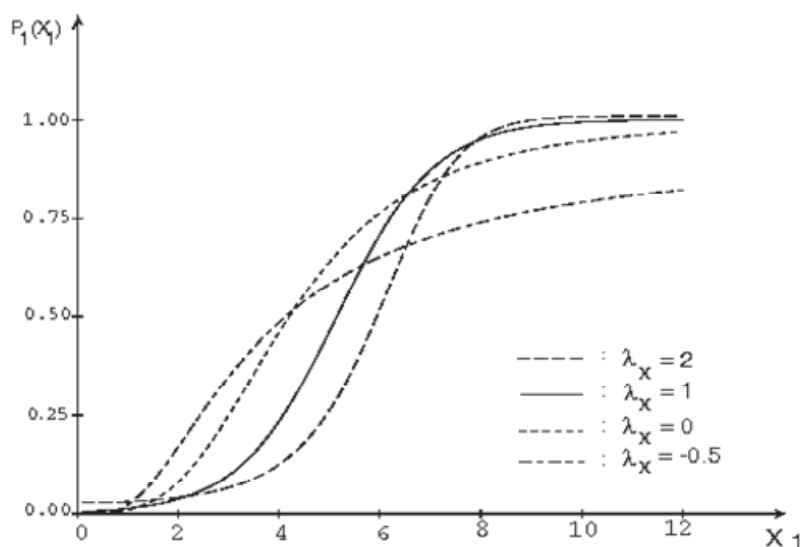
$$(3-A) \quad Var_v^{(\lambda)} \equiv \begin{cases} \frac{(Var_v)^\lambda - 1}{\lambda} & , \quad \lambda \neq 0, \\ \ln(Var_v) & , \quad \lambda \rightarrow 0. \end{cases}$$

Ceci est en particulier vrai des variables cruciales pour l'évaluation des grands projets, à commencer par le temps (pour les personnes) et le prix (pour le fret); elles apparaissent dans les fonctions d'utilité aléatoire (RUF) qui peuvent être écrites sous la forme :

$$(3-B) \quad V_i = \beta_{i0} + \sum_k \beta_{ik} X_{ik}^{(\lambda_{ik})}$$

Comme cela a été mentionné plus haut, et comme l'illustre la Figure 4.1 pour le cas de deux modes, la non-linéarité implique que la courbe de réaction à des changements de la variable  $X_i$  associée à l'alternative 1 sera asymétrique par rapport à son point d'inflexion: elle serait symétrique par rapport au point  $p_1 = 0,50$  seulement si les données impliquées dans la relation (3-B) correspondaient à la valeur :  $\lambda_{ik} = 1, \forall i, k$  :

Figure 4.1. Réponses respectives d'un modèle standard logit et d'un modèle Box-Cox



L'asymétrie est donc particulièrement importante dans la mesure où, dans le cas de grands changements de qualité de service, tout est dans la courbure, à partir du moment où il n'y a pas de désaccord sur la définition des variables importantes ni sur le fait que les changements sont loin d'être marginaux – une division par deux des temps de transport dans le cas de GPE.

En fait, la réponse asymétrique de type logarithmique, impliquant une courbe située au-dessus de la réponse linéaire pour  $[1 < X_1 < 5,5]$  dans le cas de la Figure 4.1, ressortait dans un des textes fondateurs des modèles de choix aléatoires (Abraham, 1961)<sup>7</sup>, qui traitait des choix d'itinéraires avec un souci remarquable d'empirisme raisonné, comme c'était le cas dans les premières analyses de choix d'itinéraires (Warner, 1962) où la forme logarithmique est retenue pour (3-B) suite à des tests et analyses des erreurs résiduelles. Il est raisonnable de penser que le premier TGV Paris-Lyon présentait ce type de réponse où les changements prévus dans les parts de marchés (de 2 à 4) dépassent largement ce que pourraient fournir des modèles linéaires bâtis sur les mêmes variables.

Si on préfère une spécification "*Mixed Logit*", on pourrait arguer du fait que, si les coefficients de régression sont aléatoires, la forme des variables devrait en toute logique être aussi distribuée aléatoirement. En fait on a démontré que les spécifications « *mixed logit* » peuvent souvent recouvrir la situation où la fonction d'utilité sous-jacente est non linéaire : Orro *et alii* (2005, 2010) ont en effet démontré avec des simulations fondées sur des modèles Box-Cox (utilisant deux transformations, l'une pour le temps et l'autre pour le coût) que la popularité récente des modèles multinomiaux logit mixtes (« *mixed logit* ») est peut-être due au fait que les vraies relations sont non-linéaires et qu'il conviendrait de laisser la courbure se dégager de l'ajustement statistique, plutôt que de l'imposer par la forme fonctionnelle choisie, comme d'ailleurs beaucoup de micro-économistes l'ont soupçonné.

**Que donne la formulation Logit Box-Cox dans les zones urbaines, y compris Paris?** Est-ce que les asymétries de réponse existent en zone urbaine, et en particulier pour le « Gai Paris » ? Chaque fois que, pour la fonction d'utilité, la TBC a été testée, on a toujours trouvé, sauf dans le cas spécial du BART<sup>8</sup> (McCarthy, 1982) qu'il n'y avait pas linéarité, comme l'illustre le Tableau 2.1:

Ce tableau fait apparaître les résultats suivants :



- i. **Valeurs absolues des paramètres TBC dans les zones urbaines.** Chaque fois que la TBC a été testée pour le temps et le prix avec une hypothèse alternative d'égalité à l'unité, il apparaît que  $\lambda_{Temps}$  est significativement supérieur à l'unité et  $\lambda_{Coût}$  est inférieur à l'unité. Le premier résultat,  $\lambda_{Temps} > 1$ , signifie que la pente de la courbe de demande décroît (devient plus plate) à un rythme qui croît avec la distance pour le temps : voir les résultats encadrés. Mais c'est le contraire pour le coût où, comme on le constate à la colonne voisine, la demande diminue (devient plate) à un rythme qui décroît avec la distance puisque  $\lambda_{Coût} < 1$ .
- ii. **L'utilité marginale du temps et de l'argent n'est pas constante, même dans le Gai Paris.** La conclusion précédente est en particulier vérifiée pour les cinq modèles de la région parisienne<sup>9</sup> (Modèles 20, 21, 32, 33 et 34 du Tableau 2.1)
- iii. **Ces résultats contrastent avec les résultats interurbains.** Les résultats présentés au Tableau 2.1 proviennent d'un recensement de 50 modèles urbains et interurbains où la TBC a été utilisée avec plusieurs variables de qualité de service pour la fonction d'utilité modale (Gaudry, 2011). Dans les modèles interurbains, tous estimés à partir de données de préférences révélées, on trouve en général le résultat inverse de celui rencontré en zone urbaine, à savoir  $\lambda_{Temps} < 1$ .

Tableau 4.1. Estimations TBC pour les variables de temps et coût de 18 modèles logit en zone urbaine

Colonne		1	2	3	4	Source
<b>Temps (d'attente et dans le véhicule) et Coût</b>						
<i>Sydney (2 modes)</i>	<b>Motif</b>	<input type="checkbox"/> Tatt	<input type="checkbox"/> Tvéh	<input type="checkbox"/> Coût	<input type="checkbox"/> Tvéh - <input type="checkbox"/> Coût	<b>Hensher &amp; Johnson, 1981; voir (2)</b>
<i>CBD (VP et Train)</i>		voir (1)				
1. Faubourgs nord (1971)	Travail	1,000	0,50	0,00		Tab. 1, Col. 1 ( $\square_k = 001$ )
<b>Washington, DC (2 modes)</b>						<b>Koppelman, 1981</b>
2. Ville entière (1968)	Travail	2,57	0,56	2,01		Tab. 2, Col. 6
<b>Région parisienne (6 modes)</b>						<b>Gaudry, 1985</b>
3. Entière (1976)	Travail	1,000	0,50	0,00		Tab. 3
<b>Hivert et al., 1988</b>						
4. Origine aérop. Orly (1986-7)	Personnel	1,08	1,08	0,42	0,66	Modèle 5.2, p. 46
<b>Région parisienne (2 modes)</b>						<b>Lapparent, 2004</b>
5. Entière (1997, 11 variables)	Travail	1,19	1,19	-0,89	2,08	Tab. 4.8, p. 135
<b>Santiago de Chile</b>						<b>Pong, 1991; et Gaudry, 1994</b>
<b>A-1. Corridors CBD (9 modes)</b>						
6. Las Condes & San Miguel	Travail	0,13	1,37	-0,56	1,93	Série I-B-G; voir (3)
<b>B-1. Ville ent. 1991 (11 modes)</b>						<b>Parra Granifo, 1995</b>
7. Pointe 7:30-8:30 h.	Travail	0,32	1,000	0,82	0,18	Tab. 4, Col. 1; voir (4)
8. Hors-pointe 10:00-12:00 h.	Travail	0,31	1,000	0,69	0,31	Tab. 4, Col. 2; voir (4)
9. Pointe 7:30-8:30 h.	Études	0,21	1,000	-0,01	0,20	Tab. 4, Col. 3; voir (4)
<b>Temps et ratio [Coût/Revenu] [voir (5)]</b>						<b>Pong, 1991, et Gaudry, 1994</b>
<i>A-2. Corridors CBD (9 modes)</i>	<b>Motif</b>	<input type="checkbox"/> Tatt	<input type="checkbox"/> Tvéh	<input type="checkbox"/> C/s	<input type="checkbox"/> Tvéh - <input type="checkbox"/> C/s	
10. Las Condes & San Miguel	Travail	0,12	1,30	0,55	0,75	Série I-A-G
<b>Gaudry et al., 1989</b>						
11. Las Condes (1983) seul	Travail	0,44	1,56	0,23	1,33	Note 3 p. 156
12. Ajout de S. Miguel (1985)	Travail	0,33	1,57	0,60	0,97	Note 3 p. 156
<b>B-2. Ville ent. 1991 (11 modes)</b>						<b>Parra Granifo, 1995</b>
13. Pointe 7:30-8:30 h	Personnel	0,46	0,53	-0,09		Tab. 4, Col. 5; voir (6)
14. Hors-pointe 10:00-12:00 h	Personnel	0,54	0,64	-0,10		Tab. 4, Col. 6; voir (6)
15. Hors-pointe 10:00-12:00 h	Études	1,00	0,25	0,75		Tab. 4, Col. 4; voir (6)
<b>Temps et différence [Revenu - Coût] [voir (7)]</b>						
<i>Région parisienne (2 modes)</i>	<b>Purpose</b>	<input type="checkbox"/> Tatt	<input type="checkbox"/> Tvéh	<input type="checkbox"/> (I-C)	<input type="checkbox"/> Tvéh - <input type="checkbox"/> (I-C)	<b>Lapparent et al., 2002</b>
16. Entière (1997, 5 variables)	Travail	1,17	1,17	-0,03	1,20	Modèle M-2; voir (8)
<b>Lapparent, 2002</b>						
17. Entière (1997, 5 variables)	Travail	-0,05	1,11	0,07	1,18	Modèle M-2, p. 27;
<b>Lapparent, 2003</b>						
18. Entière (1997, 16 variables)	Travail	1,07	1,07	0,85	1,92	Tab. page I; voir (9)

(1) La valeur 1,000 désigne une variable non transformée qui apparaît linéairement dans un modèle.

(2) Lors d'une application antérieure à un seul faubourg (Hensher & Johnson, 1979), les auteurs avaient trouvé une valeur optimale de la TBC de 0,05 (proche du logarithme) mais il s'agissait d'un modèle linéaire de probabilité, pas d'un Logit.

(3) Le salaire horaire net sert de mesure du revenu.

(4) La variable de temps désigne le temps de marche.

(5) Conformément à la formulation de Train & McFadden (1978), le Tarif est divisé par le salaire horaire net.

(6) Il s'agit d'un Temps généralisé (poids de 1 dans le véhicule, 2 pour la marche et 4 pour l'attente).

(7) Le revenu net est obtenu en soustrayant le Coût C du Revenu I.

(8) Le Modèle 16 impose l'égalité des coefficients des composants du temps total, contrainte relaxée dans le Modèle 17.

(9) Le Modèle 18 ajoute 8 variables socio-économiques à la formulation du Modèle 17. En conséquence, la TBC du Revenu net passe à 0,85, i.e. devient presque égale à 1 sans que la différence soit significative.

**Est-ce que les trains de banlieue et les métros sont de lents TGV ?** Si ce résultat se confirme dans de futures études moins centrées sur les déplacements domicile-travail que ceux recensés au Tableau 4.1, on aura fait apparaître une différence structurelle générale entre les déplacements urbains et interurbains, la vitesse à laquelle la sensibilité de la demande au temps de trajet diminue en fonction de la distance : à un taux croissant en zone urbaine, et à un taux décroissant en rase campagne<sup>10</sup>. Cela voudrait dire que les trains de banlieue et les métros ne sont pas des TGV lents et que les TGV ne sont pas des métros rapides.

### Valeur du temps et changements marginaux dans le temps ou le prix du trajet

Considérons la fonction typique d'utilité d'un modèle de choix modal pour un mode, disons le chemin de fer, contenant au moins le temps de trajet et le tarif ou coût, et remplaçons les termes de dépenses par les variables distance, prix et vitesse, en réutilisant les estimations du maximum de vraisemblance pour les paramètres  $\beta$  et  $\lambda$  du temps et du coût. La valeur du temps (VdT) peut alors s'écrire de manière à expliciter le rôle de la variable « distance » :

$$(4) \quad VdT \equiv \frac{\partial T_{rail} / \partial X_{rail, Temps}}{\partial T_{rail} / \partial X_{rail, Coût}} = \frac{\beta_{rail, X_{Temps}} X_{rail, Temps}^{(\lambda_{rail, X_{Temps}} - 1)}}{\beta_{rail, X_{Coût}} X_{rail, Coût}^{(\lambda_{rail, X_{Coût}} - 1)}} = \frac{\beta_{rail, X_{Temps}} [V_{rail, Vitesse}^{-1}]^{\lambda_{rail, X_{Temps}} - 1}}{\beta_{rail, X_{Coût}} P_{rail, Prix}^{\lambda_{rail, X_{Coût}} - 1}} D_{rail}^{\lambda_{rail, X_{Temps}}}$$

Il est intéressant de remarquer qu'on obtient bien  $(\lambda_{Temps} - \lambda_{Coût}) > 0$  à la fois en zone urbaine et en rase campagne en exploitant les études du Tableau 4.1 : la valeur du temps croît avec la distance<sup>11</sup>. Les rares situations où cette inégalité n'est pas satisfaite semblent être relatifs à des pays où la distance moyenne de trajets interurbains est très longue (Canada et Suède) et peut-être pour des motifs de déplacements autres que les motifs domicile-travail. Il serait donc utile de trancher le point de savoir si ce résultat, la croissance de la valeur du temps avec la distance, est également valable pour tous les motifs de déplacement en zone urbaine.

En tout cas, la TBC résout la vieille question de savoir si les petits gains de temps de trajet doivent être évalués avec la même valeur du temps que les grands : la valeur du temps n'est pas constante mais varie de façon continue avec la distance de trajet.

## 3. Effets globaux sur l'agglomération

### Réhabiliter le concept de ville optimale dans la ligne de Mills

Comme l'a souvent fait remarquer Martin Beckmann, la ville optimale présenterait non seulement une topologie endogène du réseau mais aussi de nombreuses autres dimensions, y compris la troisième, celle de la verticalité. La ville circulaire et homogène où tous les emplois sont concentrés au centre de la ville est de peu d'intérêt pour reproduire des villes en trois dimensions, et lorsque diverses

réglementations et contraintes s'appliquent à la solution, où la topologie du réseau est également contrainte, et où les fonctions de production à respecter sont diverses.

De telles exigences ne semblent remplies que par l'approche de Mills (1972, 1974) où toutes les activités, incluant les flux de transports et leur degré de congestion sont réparties de façon optimale dans une cité tridimensionnelle où la topologie du réseau est donnée par hypothèse. Comme le problème est celui d'une maximisation sous contrainte, il existe un coût total minimum ainsi que des hauteurs de construction optimales et des prix fonciers optimaux dérivés de solutions uniques et reproductibles. Bien évidemment la répartition des activités et leur niveau varie avec la technologie, les différentes activités pouvant avoir des fonctions de production spécifiques, susceptibles de changer dans le temps. Curieusement, bien qu'enrichi en prenant en compte la multiplicité des modes de transports (Kim, 1978) et bien d'autres développements (Moore II & Kim, 1995), ce type de procédure n'a jamais donné lieu à un outil de simulation urbaine opérationnel et on est conduit à penser qu'il y a là une lacune importante dans notre arsenal de modélisation.

Les travaux actuels sur la ville décarbonée seraient une occasion favorable de le faire si on souhaitait traiter des gaz à effet de serre au niveau même des fonctions de production plutôt que comme une sorte de coût externe sans consistance et productivité propres.

### **Comment progresser avec les modèles LUTI? Polycentrisme, aérotrapolisme, comparaison des différents modèles et de leur opérationnalité**

Il existe de nombreux modèles qui visent à coupler les modifications de l'offre de transport avec les modifications dans l'utilisation des sols et l'activité économique. Des classifications fort pertinentes [(cf. par exemple, Waddell *et al.* (2007), Bröcker & Mercenier (2011) ou Wegener (2011)] en ont été faites. Elles permettent de les différencier selon leurs hypothèses principales. Une des distinctions les plus significatives pour l'objectif d'évaluation des projets semble être la distinction entre modèles de simulation et modèles d'équilibre. Dans les modèles de simulation (proprement dits LUTI), la procédure d'interaction entre transports et urbanisme est itérative. Ces modèles sont par nature dynamiques (les ajustements transports/foncier/localisation se font à des étapes différentes et il n'y a pas à proprement parler d'équilibre). Les modèles d'équilibre général s'appuient sur la théorie microéconomique et aboutissent à des analyses de statique comparative.

Ces deux catégories ont des avantages et inconvénients qui ont été analysés par exemple dans de Palma (2011) et de Palma et Beaudé (2011). Les plus notables en termes d'évaluation sont, pour les modèles dynamiques, la difficulté de calage et le fait que, ne traduisant pas une situation d'équilibre, ils sont peu propres à aboutir à une analyse coût-bénéfice. Pour les modèles d'équilibre général, ils décrivent deux situations, l'une avec et l'autre sans projet, qui sont toutes deux fictives, et dont il n'est pas sûr que les cheminements temporels y aboutissent. Il serait utile de se faire une idée plus précise de ces avantages et inconvénients à travers une analyse théorique plus approfondie que le simple jugement qui vient d'être énoncé.

**Polycentrisme.** En particulier, il convient de vérifier la capacité des modèles LUTI à simuler le développement de pôles situés sur de grands cercles excentrés qui, type GPE, se croisent et dont l'union, la zone centrale parisienne, est caractérisée par de strictes restrictions de hauteur et de taille des constructions ainsi que d'accès routier. Cette capacité est essentielle pour arriver à s'écarter de la configuration où autour du centre de l'agglomération sont localisés des pôles satellites qui dépendent du centre. Il faudrait être conduit par le modèle à une spécialisation sectorielle des fonctions de production ou de la fourniture des facteurs de production sur des périphériques circulaires exigeant et autorisant des relations multipolaires ou polycentriques.

**Aérotropolisme.** Pour que l'évaluation économique soit vraiment complète, et pour bien incorporer les effets d'un saut qualitatif dans la compétitivité internationale de l'agglomération parisienne, il faut tenir compte du développement des activités liées au transport aérien, résultant de l'apparition de liaisons de transport collectif efficaces entre les aéroports de la région et le reste de l'agglomération. Cette dimension aérotropoliste<sup>12</sup> du projet GPE fait apparaître la possibilité d'une croissance nouvelle et sélective dans des activités à haute valeur ajoutée soutenue elle-même par une immigration à haute valeur ajoutée, et dans des services particulièrement utiles en période de rapide désindustrialisation.

**Opérationnalité.** Mais une tâche aussi importante du point de vue opérationnel serait de tester l'ensemble des hypothèses secondaires qui accompagnent chacun de ces modèles. La construction des grands modèles de ce type implique, on le sait, de nombreuses hypothèses secondaires, que l'analyste est amené à faire tout au long de la construction du logiciel. Elles sont moins visibles, moins facilement détectables à l'examen rapide, mais ont des conséquences déterminantes. Elles impactent le fonctionnement du modèle, son adaptation possible aux données existantes et les résultats qu'il fournit. Au-delà d'une expertise approfondie des logiciels, il serait intéressant de tester plusieurs de ces modèles sur une même – et si possible sur plusieurs agglomérations. Cela permettrait de comparer :

- la pertinence des hypothèses principales selon les différentes situations institutionnelles et de cadrage socio-économique ;
- la possibilité de disposer des données nécessaires, avec les arbitrages classiques en ce qui concerne le détail des données et celui des zonages, y compris la préservation des propriétés des modèles de trafic lors d'agrégations de leurs systèmes de zonage ;
- et aussi les résultats, ne serait-ce que pour vérifier que les ordres de grandeur sont comparables entre les modèles et pour analyser les apports respectifs de chaque modèle, en particulier pour l'analyse coût-bénéfice.

**Unicité et reproductibilité.** Enfin, une telle analyse comparative permettrait aussi de mettre en perspective nos savoirs sur le fonctionnement des principaux ingrédients à la base de ces modèles. Ceux-ci sont essentiellement constitués par le marché foncier, la localisation des ménages et la firmographie (conditions présidant à la vie des firmes : naissance, développement et disparition). Une amélioration de chacun de ces mécanismes indépendamment de leur inclusion dans un modèle plus général, est un champ de recherche. Se posent en particulier les questions d'unicité et de reproductibilité des solutions, tant des activités localisées que des flux et conditions de transport. Par ailleurs, dans la mesure où des puissances simples sont utilisées pour des fonctions de production ou de demande de type CES, le fait que, contrairement aux TBC, les puissances simples ne préservent pas l'ordre des données (Johnston, 1984, p. 63), est-il neutre pour les résultats ?

### **Consolider nos connaissances sur les effets d'agglomération?**

Des travaux économétriques importants ont été effectués récemment concernant les effets d'agglomération. Une présentation générale, orientée vers les applications opérationnelles en est donnée, ainsi que la bibliographie de base correspondante, dans Prager et Thisse (2008) et des synthèses des principaux résultats se trouvent dans la littérature (Mackie *et al.*, 2011 ; Turner, 2009) et des avancées se produisent (Combes *et al.*, 2009) montrant le caractère actif de la recherche en ce domaine. Il ne s'agit pas ici de se substituer à ces travaux ni même d'en faire un résumé. On voudrait simplement marquer un certain nombre de points susceptibles de constituer des pierres d'achoppement pour l'intégration de ces effets dans l'évaluation des projets.

Une première question concerne l'équivalence entre les différentes variables représentant dans ces études l'effet d'agglomération : densité, accessibilité, coût ou temps de transport. En particulier, de nombreuses études montrent la dépendance entre la productivité et la densité. Est-il légitime de considérer qu'une réduction des coûts ou des temps de transports est équivalente à une augmentation de la densité ? La réponse à cette question est un point fondamental. En effet les projets de transports peuvent faire varier la densité, mais ont surtout comme premier effet de réduire le coût de transport ou le temps de transport.

Une autre tâche serait de préciser et conforter les résultats économétriques des études en cause. Ces études sont délicates en raison des problèmes d'endogénéité des données. Est-ce pour cela ou pour d'autres raisons, les résultats numériques présentent une forte dispersion<sup>13</sup>. Il conviendrait en particulier d'analyser dans la variance de ces résultats, la part due à la spécificité des agglomérations et des pays, la part due aux différences sectorielles, à commencer par la distinction entre services et industries. Il faudrait aussi pouvoir distinguer les effets inter-sectoriels et les effets intra-sectoriels.

Ces effets d'agglomération peuvent avoir plusieurs causes : émergence et diffusion d'idées nouvelles ; diversification des services aux entreprises ; accroissement des aires de marché. Distinguer leur importance relative permettrait de mieux les intégrer dans les calculs de surplus.

### **Peut-on se satisfaire de notre savoir des phénomènes migratoires?**

Les migrations constituent un élément central dans les préoccupations des décideurs politiques locaux des grandes agglomérations. Ces grandes agglomérations sont en situation de compétition à la fois sur le plan national avec les autres grandes agglomérations du pays, et aussi sur le plan international avec les autres grandes agglomérations du globe. Un des aspects majeurs de cette compétition est la capacité d'attirer de la population ; cette attraction est jugée comme un facteur de richesse et de succès de l'agglomération.

Les décideurs nationaux ne sont pas non plus indifférents à ces migrations, car ils ont souvent des objectifs concernant l'équilibre des agglomérations de leur pays. On peut ainsi concevoir que les responsables nationaux d'un pays européen aient à la fois le souci que leur zone capitale fasse bonne figure vis-à-vis des zones capitales des pays étrangers, mais ne draine pas trop fortement les forces vives du pays, deux objectifs qui sont en général contradictoires. Si les décideurs sont sensibles au volume des migrations, ils le sont également aux aspects qualitatifs de ces migrations : concernent-elles la population active, les hautes qualifications ? Et ce qui est vrai pour les migrations de population s'applique aussi aux mouvements internationaux de capitaux.

La connaissance des migrations est également nécessaire à l'économiste à qui l'on demande d'évaluer l'intérêt économique d'un projet.

Mais force est de reconnaître que notre connaissance des migrations et des facteurs qui les commandent sont faibles (Lewis, 2010). Les migrations sont en général le maillon faible des études démographiques, celui sur lequel les prévisions sont les plus incertaines, qu'il s'agisse d'ailleurs de migrations intra-nationales, entre agglomérations du pays, ou de migrations internationales.

Nos connaissances de l'impact des améliorations des transports sur ces migrations sont encore plus faibles. De rares études (e.g. Turner, 2009, Crafts, 2009) permettent de dégager des sens de variations, mais les élasticités sont fragiles car étayées sur un très petit nombre de cas. Là aussi l'analyse statistique est rendue spécialement difficile en raison des endogénéités : d'un point de vue historique, sur longue



période, est-ce que la population d'une ville a augmenté parce qu'on a amélioré les transports, ou est-ce que les transports ont été améliorés parce que la population croissait ?

## 4. Évaluation

### L'analyse coût-bénéfice est-elle en défaut ?

La mise en œuvre de l'analyse coût-bénéfice des grands projets urbains mérite d'être reconsidérée à la fois dans sa mise en œuvre technique et dans son intervention dans le processus de décision (Vickerman, 2007a, 2007b).

En ce qui concerne la mise en œuvre technique, une première différence avec les projets usuels tient à la durée de vie des grandes infrastructures, qui est spécialement longue. A Paris, le pont neuf date de 500 ans et joue un rôle majeur dans l'écoulement de la circulation ; les grands boulevards percés par Haussman il y a environ 150 ans ont été le point de départ d'une urbanisation qui structure encore les valeurs foncières actuelles dans la région parisienne et la destination des quartiers. Dans ces conditions, est-il raisonnable de calculer la valeur actualisée sur une durée de cinquante ans au plus comme on le fait actuellement ? Et si on allonge la durée de vie quelle valeur prendre pour le taux d'escompte ? Si l'on se remet dans le débat correspondant intervenu au sujet des conséquences du réchauffement planétaire, faut-il prendre un taux d'actualisation à la Nordhaus ou à la Stern ?

Ceci est d'autant plus important que dans le long terme des modifications dans les prix relatifs risquent d'intervenir. Ces modifications peuvent trouver leurs sources dans les changements autonomes de préférences, et on peut penser ici au goût croissant pour l'environnement. Ils peuvent aussi résulter des transformations technologiques. Ainsi le développement des nouvelles technologies peut modifier les substitutions entre transport et communications par exemple en généralisant les téléconférences ; il peut changer les relations au travail, en généralisant les horaires souples et le télétravail. D'autres modifications des prix relatifs peuvent venir des effets de rareté. Ainsi la politique de lutte contre l'effet de serre et la raréfaction de l'énergie pétrolière. On peut dans ces conditions s'interroger sur la stabilité des paramètres (valeurs du temps, coût du deshorage, coût du carburant) qui interviennent dans les modèles et qu'on prend tant de mal à caler sur les situations historiques et présentes. Ces considérations plaident pour le développement de l'analyse prospective dans le cas des grands projets. Cette analyse prospective devrait conduire à prendre en compte des futurs susceptibles de s'écarter largement des extrapolations de tendances usuelles à travers des variantes beaucoup plus largement différenciées que l'on ne le fait habituellement.

D'autres difficultés théoriques apparaissent quand il s'agit d'intégrer dans l'analyse coût-bénéfice des facteurs que l'analyse partielle n'avait pas à identifier car alors les effets sur le surplus collectif sont résumés par le surplus des usagers. C'est le cas pour l'emploi : comment valoriser le fait qu'un chômeur est devenu travailleur ; la solution britannique consistant à compter les changements dans les dépenses publiques occasionnées par son nouveau statut est une première réponse très élégante qui fournit un ordre de grandeur précieux. Mais elle mériterait peut-être une certaine attention notamment dans la mesure où elle laisse à l'analyste le soin de déterminer le montant de ces dépenses, une tâche délicate.

Le cas des migrations est aussi problématique : quel surplus collectif attribuer à un chômeur du Massif Central qui viendrait s'installer à Paris, comme conséquence indirecte de la réalisation d'une grande infrastructure ? Et qu'en est-il si ce chômeur vient, non pas d'une région française, mais d'un pays étranger<sup>14</sup> ? Il est tentant, comme l'indique Worsley (2011), de recourir alors à un calcul de variation de PIB, pour lequel ces problèmes ne se poseront pas.

Ce dernier calcul de PIB régional est d'autant plus pertinent qu'il correspond à un souci des décideurs politiques. Ceux-ci ne sont en général beaucoup moins intéressés par le surplus collectif que les économistes. Leurs préoccupations essentielles portent sur les conséquences en termes d'activité économique et sur les effets redistributifs au sens large. Ils sont ainsi concernés par les impulsions données aux différents quartiers de la ville, par la connaissance des bénéficiaires et des perdants, et aussi par les effets en termes de cohésion sociale et de résorption des quartiers en difficulté. Ces conséquences ne sont pas abordées par l'analyse coût-bénéfice traditionnelle, même si les économistes ont des choses à dire sur ces sujets.

Ces exemples montrent que, vis-à-vis ou à côté de l'analyse coût-bénéfice traditionnelle, la description des effets et leur présentation intelligente est probablement un élément majeur dans la formation des opinions des décideurs sur chaque projet. Ceci déplace le centre de gravité de l'évaluation, de l'économie normative vers l'économie positive, ce qui est tout aussi exigeant pour l'économiste.

### **Combien de façades ont les gares ?**

Dans les projets de transport public, les gares jouent un rôle particulier et peuvent même selon les cas devenir des éléments centraux du projet. Elles constituent d'abord un pic de valeur foncière et peuvent attirer des opérations d'aménagement majeures. On l'a vu autour des gares de lignes à grande vitesse. Ces processus engendrent des valeurs ajoutées considérables. Ces valeurs ajoutées, on a souvent cherché à les capter au profit du financement de l'opération principale ; et l'opinion courre que les chemins de fer japonais y trouvent l'essentiel de leurs bénéfices. Mais il faut reconnaître que les efforts pour capter ces plus-values foncières ont été jusqu'ici, au moins en Europe, peu couronnés de succès.

Les gares sont en outre des lieux privilégiés d'exercice de l'inter-modalité, une politique dont le développement est jugé souhaitable par la plupart des décideurs publics. Cette inter-modalité peut se développer par l'usage des technologies nouvelles, et une programmation adéquate des échanges autour de la gare peut considérablement changer l'efficacité d'un projet de ligne nouvelle. On peut à l'inverse citer des exemples (le cas d'Orly-Val pour la desserte de l'aéroport d'Orly) où une mauvaise organisation d'une gare met en péril la rentabilité d'une opération d'investissement.

Enfin la gare est un exemple de marché bi-face (*two-sided market*), un type de marché qui possède des propriétés particulières en termes de régulation et de tarification des deux côtés (ici les voyageurs et les commerces alentour). Ces diverses raisons militent pour des études sur l'économie des gares.

### **Jusqu'où étendre la définition des projets à évaluer ?**

Les interactions entre le projet proprement dit et son environnement sont fortes. Selon la tarification qui lui sera appliquée, les effets d'agglomération se feront sentir plus ou moins fortement. De même les conséquences sur le développement urbain et sa répartition dans l'agglomération vont être modifiées. Il importe que la définition du projet comporte des indications sur sa tarification. Les conditions de réalisation et de financement importent également. Le recours à un partenariat public privé par exemple



peut avoir des conséquences importantes sur le coût du projet, sur son financement et sur la couverture des risques qui lui sont associés.

On voit bien aussi que le projet doit être accompagné d'une définition de la réglementation associée. Déjà le Pont Saint Michel construit à Paris entre le Palais Royal et la rive gauche de la Seine en 1387 aurait été l'objet d'une concession y autorisant notamment la présence d'habitations (Bezançon, 2004). Cette réglementation concerne d'abord l'urbanisme (destination des zones, volume constructible). Mais c'est aussi la réglementation fiscale qui est en cause. Ainsi, dans plusieurs pays, les subventions aux logements et la fiscalité des entreprises impliquent des localisations des ménages et des entreprises qui souvent contrarient, au moins dans certains pays, les tendances du marché et qui ont des impacts majeurs sur les déplacements.

D'une façon plus générale, les interactions entre les transports et les décisions urbaines jouent dans les deux sens. On considère en général comme exogènes les conséquences des réglementations et des décisions publiques. A partir de là, on évalue – ou on essaie d'évaluer – les conséquences en matière de localisation et de transports. Mais ne faudrait-il pas considérer aussi que les aménagements de transport peuvent avoir des conséquences sur les décisions publiques en matière d'urbanisation et de fiscalité ? Les études qui cherchent à endogénéiser les décisions publiques sont rares, les plus nombreuses portent sur certains aspects de la politique routière. Mais il n'y a pas de raison pour penser qu'une grande infrastructure n'aura pas d'effet dans le futur sur les plans d'urbanisme, même si actuellement les pouvoirs publics ne veulent pas déroger aux réglementations actuelles ? À défaut d'une endogénéisation en bonne et due forme, des hypothèses de variantes prospectives ne devraient-elles pas être définies à dire d'expert ?

Par ailleurs on sait bien qu'un grand projet est souvent modulable, et se réalise sur une longue période, avec des mises en service échelonnées. La définition du projet devrait inclure sa modularité et les phases de réalisation. Se pose alors les questions de savoir si les effets des projets sont additifs ou non, si en somme il y a des sortes d'économies d'échelle ? Normalement les études de modélisation des transports et d'interaction avec les activités économiques devraient fournir la réponse. À défaut, une analyse des expériences passées en ce domaine serait bienvenue.

## 5. Conclusion

Nous avons proposé, sans souci d'exhaustivité, une liste de problèmes non résolus, de lacunes dans les connaissances et d'avancées souhaitables dans le contexte d'un élargissement de l'analyse usuelle à laquelle il y aurait lieu de substituer une nouvelle analyse prenant en compte des effets du projet sur l'ensemble de l'économie. On peut regrouper les problèmes et les thèses présentées sous forme affirmative pour susciter la controverse :

En termes de modélisation des trafics :

1. Les pratiques usuelles doivent être revues et élargies pour tenir compte de la variété des catégories de déplacements et de la panoplie des comportements des usagers.
2. Le caractère non marginal des transformations impliquées par les grands projets impose de considérer des formes d'utilité plus souples que les formes linéaires usuelles.

En termes d'impact des projets en dehors des transports (structure urbaine, développement économique) :

- i. Il convient de capitaliser nos connaissances en ce qui concerne les différents modèles intégrant les transports et l'espace (modèles LUTI), pour mieux connaître leurs conditions de mise en œuvre et leurs performances respectives.
- ii. Les effets d'agglomérations ont fait l'objet d'analyses théoriques et économétriques. Ces analyses ont permis des avancées majeures durant ces dernières années. Il convient d'en tirer des ordres de grandeur opérationnels applicables aux projets de transports. Il faudrait aussi mieux connaître les origines de ces effets.
- iii. Les migrations sont une des conséquences majeures du développement des infrastructures urbaines. Mais on ne sait que très peu de choses sur les mécanismes auxquels elles obéissent. Comment combler cette lacune ?

En termes d'évaluation proprement dite des projets :

- a) Quelle est la pertinence de l'analyse coût-bénéfice pour l'évaluation des grands projets urbains ? Comment tenir compte des indivisibilités et du très long terme ?
- b) Comment mieux intégrer dans les analyses les spécificités et possibilité offertes par les lieux d'échanges que sont les gares ?
- c) Comment définir les projets soumis à l'analyse ?

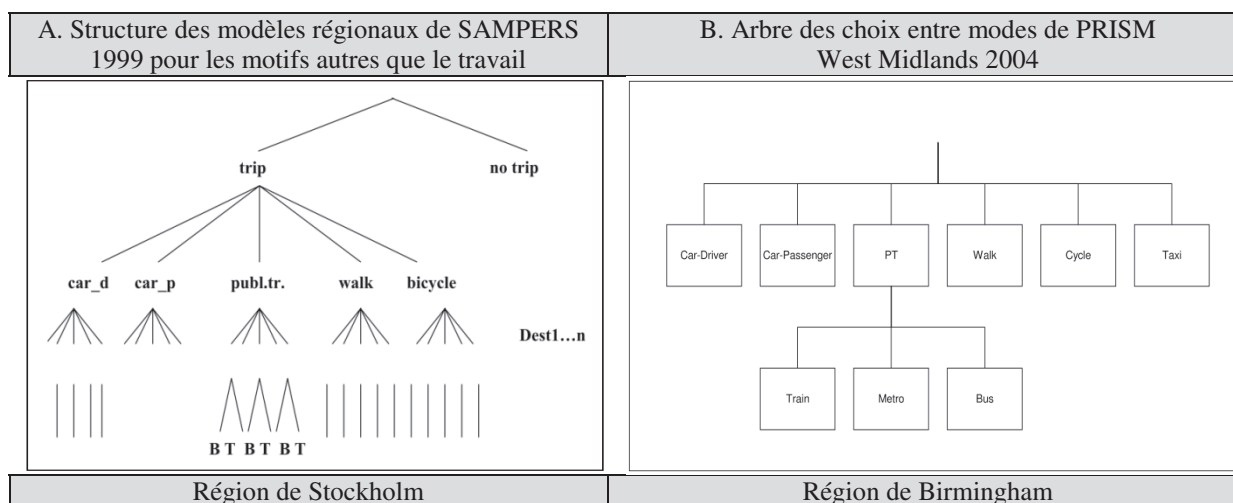
## Annexe 4.A1

### Scinder un choix MNL entre itinéraires TC en branches ?

Que penser de la pratique illustrée à la Figure 4.A1.1 qui, depuis à peine 10 ans et dans des cas très particuliers, tente de contourner le problème de calcul des moyennes des caractéristiques des chemins TC en ajoutant une couche nouvelle de branches, cette fois entre les divers modes TC eux-mêmes, certains modes « supérieurs » donnant lieu à un calcul de logsum et les autres ne servant que comme leurs modes d'accès ? Cette solution est peu satisfaisante :

- (i) **Le problème n'est que déplacé** : le nouveau niveau TC ne fait que transférer le problème de l'accès, nécessairement multiple, au niveau inférieur. Par exemple, SAMPERS 1999 utilisait pour l'accès au bus et au train un algorithme (la stratégie optimale mise en œuvre par EMME/2) qui est d'inspiration déterministe<sup>37</sup>, avec le résultat que la répartition entre train et bus était instable et sensible à des variations infimes. La révision du modèle en 2003 a supprimé ce niveau de modélisation (Transek, 2003 ; 2004).
- (ii) **Treize à la douzaine** : quels sont les modes supérieurs et inférieurs dans le cas du GPE où il y a 4 différents types de bus<sup>38</sup> (ordinaire, Rapide, T-Zen, et minibus locaux des municipalités), deux sortes de tramways (étroits ou larges) et de métros (ordinaire et automatique) ainsi que des trains régionaux express (RER) dont les caractéristiques en termes de poids, longueur, type de cabine et confort sont très différentes. Si on veut établir une hiérarchie, lesquels de ces 10 modes sont « supérieurs » et lesquels sont « inférieurs », servant à apporter le trafic au réseau supérieur, et nécessitant de ce fait une modélisation propre ? Est-ce que certains modes sont « supérieurs » le matin et « inférieurs » le soir, est-ce que la hiérarchie est bi-directionnelle ?

Figure 4.A1.1. **Modèles hiérarchiques récents pour les transports collectifs en zone urbaine**



Si ces structures hiérarchiques, malheureusement non emboîtées au sens statistique du terme, semblent mal adaptées aux situations dans lesquelles les alternatives sont pléthoriques, cela ne signifie pas cependant que le choix multinomial devient simple. Notons en passant deux difficultés importantes qui peuvent être résolues dans l'état courant des techniques :

- i) **Effets communs à tous les chemins** : il est possible d'identifier une constante commune liée aux options (AGC) dans le problème de choix de chemin avec un modèle multinomial, et plus généralement toutes les constantes liées à chaque option (ASC) dans les problèmes de choix modaux logit (Gaudry et Tran 2011).
- ii) **Cohérence des variables non linéaires pour représenter la qualité de service** : il y a de nombreuses manières de vérifier la non-constance de l'utilité marginale de la qualité de service (fréquence, temps, coût) avec des fonctions d'utilité logit<sup>39</sup>. Quelle que soit la méthode utilisée (nous résumons plus haut le travail fait avec des transformations Box-Cox), le logsum résout le vieux problème de la compatibilité entre la forme des variables de qualité de service apparaissant à la fois dans la modélisation des itinéraires et dans celle du choix du mode.

## Notes

1. Il reste de l'Égypte ancienne les pyramides, gigantesques tombeaux des pharaons, les tombeaux plus modestes mais néanmoins imposants des rois et des reines, mais on n'a pas gardé trace des petites tombes des innombrables *fellahs* qui ont construit les premières.
2. Les logements situés dans une collectivité utilisent des biens publics locaux produits par une autre collectivité, sans que la tarification traduise ces externalités.
3. Dans les marchés aériens, les déplacements au motif professionnel sont depuis longtemps minoritaires.
4. Pour une discussion de ces possibilités, voir Klein *et alii* (1997).
5. Déjà utilisés pour expliquer les déplacements d'achats dans Antonin-2 et dans Modus-2.
6. Parfois, des astuces diverses sont mises en œuvre pour récupérer les chemins les plus vraisemblables (e.g. Bar-Gera, 2006).
7. Bien que les spécifications des fonctions d'utilité aléatoire dans les développements des modèles de choix à partir des lois normales ou rectangulaires publiées par Abraham en 1961 étaient linéaires, les applications étaient non linéaires; les premières études relatives au tunnel sous la Manche (Setec, 1959), explicitement fondées sur un modèle à utilité aléatoire, comparaient les formes linéaires et logarithmiques (voir pour les détails Gaudry et Quinet, 2011) et les ingénieurs français ont donné le nom de « loi d'Abraham » à un modèle logarithmique logit de choix d'itinéraire fondé sur une expression du coût généralisé de transport sans constante d'itinéraire.
8. La fonction d'utilité estimée pour le BART était linéaire si l'usager utilisait deux modes (Auto et bus avant le BART) ou une décomposition plus complexe des modes publics en 3 sous-catégories (après le BART). Le résultat trouvé reste une exception et il n'est pas possible d'après le texte publié de savoir si des particularités de tarification locales (telles que des tarifs de bus variant dans un domaine très étroit) peuvent expliquer le résultat ou si celui-ci résulte d'une attitude particulière vis-à-vis de la distance urbaine.
9. Dans un travail récent sur la disponibilité des modes et le choix des modes en région parisienne, Lapparent (2010, p 382) reconnaît l'insuffisance de la fonction d'utilité log-linéaire et la nécessité de ré-estimation avec une TBC. Son choix, effectué à titre exploratoire, était dicté par l'accent mis surtout sur l'endogénéité de l'ensemble de choix dans ce travail.
10. Le recensement précédent essaie aussi d'expliquer les valeurs TBC brutes en les scindant entre une composante exprimant l'optimisme, le pessimisme ou la neutralité à l'égard de la distance (ou l'attitude vis-à-vis du risque) et une autre composante exprimant l'attitude vis-à-vis des caractéristiques du trajet lui-même, dans l'esprit de la théorie des prospects.

11. Selon Jara-Diaz (2007, Equation 2.34, p. 61), la valeur du temps doit toujours augmenter avec la distance.
12. Voir Kazarda et Lindsey (2011).
13. Analogie à la dispersion des résultats d'études économétriques relatives aux effets de croissance endogène menées dans la ligne et à la suite des premiers travaux d'Aschauer.
14. C'est d'une manière générale la question de savoir comment il faut compter la variation de surplus que connaissent les ressortissants d'un pays étranger.
15. L'idée est que les utilisateurs de transports collectifs vont toujours à pied à la station qui correspond pour eux au coût généralisé le plus bas.
16. Parmi les 1 433 lignes de bus qui couvrent les 24 660 km d'itinéraires, beaucoup sont complémentaires du système de desserte ferroviaire, mais beaucoup également sont en concurrence avec lui.
17. Les bus T-Zen, en service depuis 2011 dans la région parisienne, ont bénéficié de lignes de bus dédiées à haut niveau de service (BHNS) mais avec des portes et fenêtres de type tramway. Sont-ils très distincte des tramways sur pneus ?
18. Par exemple, dans un modèle Probit mis en œuvre pour la région Ile de France, de Palma et Picard (1995) utilisent une forme cubique pour le temps.

## *Bibliographie*

- Abraham, C. (1961), La répartition du trafic entre itinéraires concurrents: réflexions sur le comportement des usagers, application au calcul des péages, *Revue générale des routes et aérodromes*, 357, pp. 57-60, 65-72, 75-76.
- Bar-Gera, H. (2006), Primal Method for Determining the Most Likely Route Flows in Large Networks, *Transportation Science*, 40, 3, 269-286.
- Bezançon, X. (2004), 2000 ans d'histoire du partenariat public-privé pour la réalisation des équipements et services collectifs, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- Bröcker, J. et J. Mercenier (2011), General Equilibrium models for transportation economics, dans: de Palma, A., R. Lindsey, E. Quinet et R. Vickerman (2011), *A Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar.
- CATS (1959-1962), Chicago Area Transportation Study, *Final report in three parts*. Study conducted under the sponsorship of [the] State of Illinois, Department of Public Works and Buildings, County of Cook, Board of Commissioners of Cook County. CONTENTS: v. 1, *Survey findings*, December, 1959; v. 2, *Data projections*, July, 1960; *Transportation plan*, April, 1962. Chicago.
- Citilabs (2008), *Cube Voyager Reference Guide Version 5.0*. Document révision 50-006-1, 1 000 pages, Citilabs, 12 Décembre.
- Combes, P.-P., G. Duranton, L. Gobillon, D. Puga, et S. Roux (2009), The productivity advantages of large cities: Distinguishing agglomeration from firm selection. Document de référence 7191, Centre for Economic Policy Research.
- Crafts, N. (2009), Transport Infrastructure Investments: Implications for growth and productivity, *Oxford Review of Economic Policy*, 25, 3, 327-343.
- Dafermos, S. (1983), A Multicriteria Route-Mode Choice Traffic Equilibrium Model, *Bulletin of the Greek Mathematical Society*, 24, 13-32.
- Daly, A. (1999), The use of schedule-based assignments in public transport modeling, *Proceedings of the 27<sup>th</sup> European Transportation Forum*, Seminar F, Cambridge, England, 149-157.
- DfT (2008), Department for Transport: Economic Benefits in Transport appraisal. Publié le 1<sup>er</sup> April. <http://www.dft.gov.uk/pgr/economics/rdg/webia/webtheory/>.
- DRIEA IF (2010), *MODUS, modèle de déplacements en Île-de-France de la DRIEA IF*. 23 pp., Présentation au Comité technique du comité scientifique d'Éole, 16 novembre.

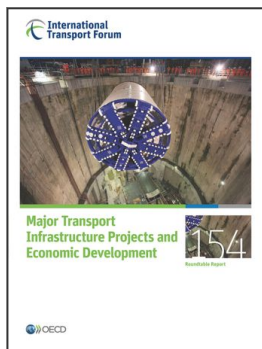
- Fellendorf, M. et P. Vortisch (2010), Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. Ch. 2 dans : J. Barceló (éd.), *Fundamentals of Traffic Simulation. International Series in Operations Research & Management Science*, 145, pp. 63-93, Springer Verlag.
- Florian, M. et I. Constantin (2011), *Emme strategy transit assignments with variants*, INRO, Montréal, 87 pages, 5 May, [www.inro.ca/en/index.php](http://www.inro.ca/en/index.php).
- Gaudry, M. (1985), Modèles agrégés et désagrégés à forme variable : résultats sur Montréal et Paris. *Transports*, 304, 288-293.
- Gaudry, M. (1994), *Tópicos avanzados en analisis de demanda de transporte: rol de la forma funcional*. Présenté au Séminaire organisé par le Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte (SECTRA), 16 pages, Santiago de Chile, 7 janvier.
- Gaudry, M. (2011), Quebec-Windsor Corridor High Speed Rail Market Forecast Profiles in Context: Level-of-Service Response Curvature Sensitivity and Attitude to Risk or to Distance in Forty Logit Core Model Applications of the Law of Demand. 100 pages, février, [www.e-ajd.net](http://www.e-ajd.net).
- Gaudry, M. et E. Quinet (2011), *Shannon's measure on information and the utility of multiple network paths in transport demand estimation and project appraisal*. Publication AJD-142, Agora Jules Dupuit, Université de Montréal, Version du 4 novembre, 24 pages.
- Gaudry, M. et Tran, C.-L. (2011), *Identifying all alternative-specific constants in Multinomial Logit models by Inverse Power Transformation Capture*. Publication AJD-141, Agora Jules Dupuit, Université de Montréal, 23 pages, juillet.
- Gaudry, M., Jara-Diaz, S. R. et J. de D. Ortuzar (1989), Value of Time Sensitivity to Model Specification. *Transportation Research B*, 23, 2, 151-158.
- Hensher, D.A. et L.W. Johnson (1979), External structure of variables in individual choice models of travel demand, *International Journal of Transport Economics*, 6, 51-62.
- Hensher, D.A. et L.W. Johnson (1981), Behavioural response and form of the representative component of the indirect utility function in travel choice models, *Regional Science and Urban Economics*, 11, 559-572.
- Hivert, L., J.-P. Orfeuil et P. Troulay (1988), *Modèles désagrégés de choix modal: réflexions méthodologiques autour d'une prévision de trafic*. Rapport INRETS n° 67, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Arcueil, 72 pages, juin.
- Jara-Diaz, S. (2007), *Transport Economic Theory*, Emerald Publishing.
- Johnston, J. (1984), *Econometric Methods*, Third Edition, McGraw-Hill Book Company.
- Kazarda, J.D. et G. Lindsay (2011), *Aerotropolis: The Way We'll Live Next*, Allan Lane, 466 pages.
- Kim, T.J. (1978), Effects of subways on urban form and structure, *Transportation Research*, 12, 231-239.
- Klein, D., R. Binyam et A.T. Moore (1997), *Curb Rights*, The Brookings Institution, juin.



- Koppelman, F.S. (1981), Non-linear utility functions in models of travel choice behavior. *Transportation*, 10, 127-146.
- Lapparent, M. de (2003), *Individual Demand for Travel Modes and Valuation of Time Attributes within the Regular Journey-to-Work Framework*. Publication AJD-70, Agora Jules Dupuit, Université de Montréal, 28 pp., janvier, [www.e-ajd.net](http://www.e-ajd.net).
- Lapparent, M. de (2004), *La valeur du temps dans les déplacements réguliers professionnels*. Thèse d'économie, Université Paris I – Panthéon-Sorbonne. Publication AJD-81, Agora Jules Dupuit, Université de Montréal, 180 pp., juin. [www.e-ajd.net](http://www.e-ajd.net).
- Lapparent, M. de (2010), Latent Class and Mixed Logit Models with Endogenous Choice Set Formation Based on Compensatory Screening Rules. Ch. 17 dans : S. Hess et A. Daly (éds.), *Choice Modelling: the state-of-the-art and the state-of-practice; Proceedings from the Inaugural International Choice Modelling Conference*, 371-396, Emerald Publishing.
- Lapparent, M., A. de Palma et C. Fontan (2002), *Nonlinearities in the Valuation of Travel Attributes*. Publication AJD-69, Agora Jules Dupuit, Université de Montréal, 22 pp., octobre, [www.e-ajd.net](http://www.e-ajd.net).
- Lewis E.G. (2010), The Economics of Immigration: Theory and Policy. *Journal of Economic Literature*, 48, 4, 1028-1030, décembre.
- Mackie; P., D. Graham et J. Laird (2011); The direct and wider impact of transport projects: a review; dans : A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet et R. Vickerman (éds.) (2011), *A Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar.
- McCarthy, P.S. (1982), Further evidence on the temporal stability of disaggregate travel demand models, *Transportation Research B*, 16, 4, 263-278.
- Mills, E.S. (1972), Markets and efficient resource allocation in urban areas, *Swedish Journal of Economics*, 74, pp. 100-113.
- Mills, E.S. (1974), Mathematical models for urban planning, dans : A. Brown (éd.), *Urban and Social Economics and Market and Planned Economies*, 40, 2, 113-129, Praeger, New York.
- Moore II, J.E. et T.J. Kim (1995), Mills' urban system models : perspective and template for LUTE (Land Use/Transport/Environment) applications. *Computers, Environment and Urban Systems* 19, 4, 207-225.
- Orro, A., M. Novales et F.G. Benitez (2005), *Nonlinearity and Taste Heterogeneity Influence on Discrete Choice Model Forecasts*, 18 pp., Association for European Transport and contributors.
- Orro, A., M. Novales et F.G. Benitez (2010), Box-Cox mixed Logit model for travel behaviour analysis. Paper presented at the 8th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Rhodes, 4 pages, septembre. A paraître dans : *American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings*.
- De Palma, A. et O. Beaudé (2011), État de l'art des méthodes d'analyse socio-économiques dans le cadre d'un projet urbain. Document de travail ENS Cachan.

- Palma A. de (2011), *Le Grand Paris : Quels outils, quels enjeux ?* Document de travail pour la Table Ronde 154, ITF, Paris.
- De Palma, A. et N. Picard (1995), Route choice decisions under uncertainty, *Transportation Research A*, 39, 295-324.
- Parra Granifo, R.S. (1995), Modelos de particion modal Logit Box-Cox para Santiago: interpretation microeconomica y valores del tiempo, dans : F.J. Martínez Concha (éd.), *Actas Septimo Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Santiago, pp. 169-186.
- Pong, S. (1991), L'application du modèle probabiliste et de la transformation de Box-Cox au choix du mode de transport au Chili. Thèse de Maîtrise, Département de sciences économiques, Université de Montréal.
- Prager J.-C. et J.-F. Thisse (2008), *Economie et Géographie du développement*, Paris, Repères La Découverte.
- PTV AG. PTV Vision: VISUM 11.5 – Bases théoriques, 812 pages.
- Rand Europe (2004), *PRISM West Midlands: Tour-based mode destination modelling*, 196 pages, 6 juillet, <http://www.prism-wm.com/>.
- Setec (1959), *Tunnel sous la Manche – Étude de Trafic et de Rentabilité: Partie B – Annexe*. The Economist Intelligence Unit Ltd (Londres), De Leuw, Cather and C<sup>o</sup> (Chicago) and Société d'Études Techniques et Économiques (Paris), pages iii-ix (pages 196-202, Volume 3), novembre. [http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.xsp?id=Temis-0005494&qid=sdx\\_q0&n=1&q=](http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.xsp?id=Temis-0005494&qid=sdx_q0&n=1&q=).
- STIF (2004), Prévisions de trafic régional sur l'Île de France : Fonctionnalités des modèles – Méthodologie, Cas du STIF avec le modèle Antonin, 16 pp.
- Thisse, J.-F. (2011), Geographical Economics: A historical perspective. *Recherches Economiques de Louvain* ; 77, 3.
- Train, K.E. et D. McFadden (1978), The Goods/Leisure Trade-Off and Disaggregate Work Trip Mode Choice Models, *Transportation Research*; 12, 5, 349-353.
- Transek (1999), *The SAMPERS System: Overview*. 25 pages, Transek AB, Solna.
- Transek (2003), *Utveckling av Sampers 2.1. Del 1 Estimeringen*. 143 pages, Transek AB, Solna, novembre.
- Transek (2004), *The SAMPERS System 2.1: Overview*, 29 pages, Transek AB, Solna.
- Turner, M. (2009), The effects of transportation infrastructure on cities: A review of the evidence. Lectures pour l'université d'été EAERE, Venise.
- Vickerman, R. (2007a), Cost-benefit analysis and large-scale infrastructure projects: state of the art and challenges, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 34, pages 598-610.

- Vickerman, R. (2007b), Macro-, Meso- and Micro- Infrastructure Planning and Assessment Tools. Recent Evolution of Research into the Wider Economic Benefits of Transport Infrastructure Investments, Report 2007/9, ECMT.
- Waddell, P., G.F. Ulfarsson, J.P. Franklin et J. Lobb (2007), Incorporating land use in metropolitan transportation planning; *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(5), 382-410.
- Warner, S.L. (1962), Stochastic Choice of Mode in Urban Travel : A Study in Binary Choice. Northwestern University Press, 90 pages.
- Wegener, M. (2011), Transport in spatial models of economic development, dans : A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet et R. Vickerman (2011), *A Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar.
- Worsley, T. (2011), Évolution du Projet Crossrail de Londres, dans : Table Ronde 154, Grands Projets d'infrastructures de Transport et Développement Économique, FIT, OCDE, Paris.



Extrait de :

## Major Transport Infrastructure Projects and Economic Development

Accéder à cette publication :

<https://doi.org/10.1787/9789282107720-en>

### Merci de citer ce chapitre comme suit :

Gaudry, Marc et Émile Quinet (2015), « Hypothèses de base et questions soumises à examen », dans Forum International des Transports, *Major Transport Infrastructure Projects and Economic Development*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789282107737-5-fr>

Ce document, ainsi que les données et cartes qu'il peut comprendre, sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région. Des extraits de publications sont susceptibles de faire l'objet d'avertissements supplémentaires, qui sont inclus dans la version complète de la publication, disponible sous le lien fourni à cet effet.

L'utilisation de ce contenu, qu'il soit numérique ou imprimé, est régie par les conditions d'utilisation suivantes :

<http://www.oecd.org/fr/conditionsdutilisation>.