INFRASTRUCTURES A PEAGE EN MILIEU URBAIN: MODELISATION DE LA DEMANDE ET MESURE DU CONSENTEMENT A PAYER

Dominique HENRIET
Directeur d'étude
Groupe TERSUD
Marseille FRANCE

Francis LEBLANC
C.E.T.U.R.
Bagneux FRANCE

Anne DUBROCARD
Ingénieur-Economiste
Groupe TERSUD
Marseille FRANCE

1. INTRODUCTION

L'accroissement des trafics automobiles crée des problèmes de congestion dans tous les grands centres urbains. Des réflexions sont engagées sur la mise en place d'outils de régulation des trafics. Parmi ces outils, le péage apparaît, a priori, comme un moyen souple d'incitation "au bon usage" de l'espace urbain.
Le péage peut, en effet, être considéré à la fois comme outil de financement d'infrastructure (imputation directe aux usagers du coût de l'aménagement), et comme outil de "taxation optimale" visant à sensibiliser les usagers aux pertes de "bien-être" liées à la congestion.

Deux hypothèses sous-tendent cette interprétation du péage comme outil de régulation efficace:
D'une part, en l'absence de prix signalant le coût de l'encombrement supporté par les autres usagers, chacun est conduit à faire un choix erroné puisque ne tenant pas compte de cet aspect lors de sa décision.
D'autre part, pour que le péage ait un effet plus fin qu'une régulation physique,il faut supposer que les individus ont des préférences individuelles différentes. En effet, si tous les individus ont des comportements identiques, le signal prix aura le même effet sur tous et sera alors équivalent à une allocation arbitraire.
Vérifier ces hypothèses consiste donc à modéliser des comportements hétérogènes pour estimer la variabilité du prix que chaque individu accorde à la décongestion de la circulation.Cette modélisation vise à repérer les caractéristiques observables qui influent sur le choix des individus de façon à prédire leur comportement.

Le problème pratique qui se pose alors est que les choix des individus ne sont pas observables dans la mesure où il n'existe pas en France d'exemple de péage urbain.

La méthode des préférences déclarées a été adoptée pour simuler les choix individuels.Elle consiste à proposer des "paniers-déplacements" dont le contenu décrit les caractéristiques d'un déplacement :

- origine destination
- temps de parcours/variabilité du temps de parcours
- mode de transport
- itinéraire
- motif du déplacement
- prix

Le classement des paniers révèle les préférences des individus ainsi mis en situation.
A priori les combinaisons de caractéristiques permettent de décrire une infinité de déplacements.Il est nécessaire de réduire le champ de façon à rendre l'expérimentation possible tout en conservant le maximum d'information.

L'objet de la partie 2 est d'expliciter l'élaboration des combinaisons soumises au choix. Dans la partie 3, nous reviendrons sur le modèle de comportement sous-jacent au modèle d'estimation présenté dans la partie 4. Les résultats obtenus seront exposés dans la partie 5.

2. LES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

La collecte des données s'est effectuée par enquête .
Deux sites ont été choisis : Marseille et Grenoble. Ces deux villes ont un projet d'infrasctucture à péage bien identifié auprès du public, ce qui permet de mettre plus concrètement en situation les personnes à travers un classement d'option.

2.1. Constitution d'un ensemble de choix

Ces options représentent les "paniers" de combinaisons sélectionnées ; chacune décrit donc un déplacement par : le temps de parcours, la stabilité de ce temps, le prix associé à un itinéraire et un mode de transport donné. Les autres caractéristiques du déplacement ont été fixées pour chaque individu .Ainsi pour l'origine/destination du déplacement, il était recommandé de se référer à l'origine/destination et au motif les plus fréquents, associés à l'itinéraire auquel le tunnel est susceptible de se substituer. Chaque classement est donc effectué en référence à un déplacement particulier dont on a identifié le motif, le mode, la fréquence et les contraintes horaires associées.
Les autres caractéristiques varient comme suit :

1- mode de transport : voiture particulière ou transports collectifs
2- itinéraire : habituel ou utilisant la nouvelle infrastructure
3- prix du péage : 0F, 2F, 5F, 9F, 15 F
4- gain de temps : 1 à 11 mn; 8 à 18 mn ; 5 à 25 mn; 5 à 15 mn; 15 mn ; 10 mn ; 6 mn ;13 mn; 0 mn ;

Cette liste appelle une explication et une remarque .
L'explication concerne la caractéristique "gain de temps" Les fourchettes de temps proposées visent à enrichir la notion de gain de temps d'une notion d'assurance de gain de temps. En effet, il s'agit de tester l'idée que la possibilité de prévoir avec un minimum d'assurance le temps des déplacements importe autant que le gain de temps lui-même.
La remarque est la suivante: parmi les combinaisons des modalités, certaines sont triviales et d'autres sont incohérentes. Ainsi, les prix du péage ne peuvent être associés qu'aux modalités voiture particulière et utilisation du tunnel. La modalité transport en commun ne peut être associé qu'à un itinéraire habituel. Enfin, les combinaisons prix-gain de temps proposées doivent être constituées de manière à ce que leur classement ne soit pas trivial.

2.2. le sondage

Un questionnaire visant à recueillir des données descriptives des individus et de leurs déplacements ainsi que le résultat de leur classement d'option a été soumis à un échantillon représentatif de l'ensemble de la population motorisée des agglomérations concernées.
Les caractéristiques de ces échantillons sont les suivantes:
- Sondage auprès d'un échantillon représentatif de la population motorisée de l'unité urbaine considérée,

- Echantillonnage sur quotas (age, sexe ,CSP) avec stratification sur le quartier de résidence.

3. LE MODELE DE COMPORTEMENT

Pour tenter d'expliquer les comportements par les caractéristiques individuelles, il a été choisi d'utiliser un modèle économétrique à variables qualitatives.
Ce modèle peut être décrit de la façon suivante :
Sous l'hypothèse linéaire, un individu particulier valorise l'option présentée au moyen d'une fonction d'utilité : $u(t, p) = at - p$
En numérotant les options de 1 à K, un individu classe l'option r devant l'option s, si : $at_r - p_r \geq at_s - p_s$

La valeur du temps a peut dépendre de caractéristiques observables de l'individu. Soit x le vecteur de ces caractéristiques, une formulation linéaire de cette dépendance peut s'écrire: $a = xb$
où b est un vecteur de coefficients.
Ainsi pour un individu i de caractéristique x_i, la valeur du temps sera : $a_i = x_i b$.
Notons alors $u_i(r)$ l'utilité de l'individu i pour l'option : $u_i(r) = (x_i b)\, t_r - p_r$
L'hypothèse statistique supplémentaire consiste à supposer qu'une partie de l'utilité est aléatoire et inobservable : $v_i(r) = u_i(r) + \varepsilon_{ir}$
On supose que les ε_{ir} sont indépendants et identiquement distribués selon une loi spécifique. On peut alors calculer la probabilité pour qu'un individu i préfère l'option r à l'option s: $\text{Proba}\,(v_i(r) \geq v_i(s)) = \text{Proba}\,(e_{ir} - e_{is} > u_i(s) - u_i(r))$
En donnant à ε une loi spécifique (dépendant d'un paramètre c) on peut obtenir une forme logistique des probabilités :

$$\text{Proba}(v_i(r) \geq v_i(s)) = \frac{\exp(cu_i(r))}{\exp(cu_i(r) + cu_i(s))}$$

Plus généralement, on peut calculer la probabilité associée à un classement de K options.
Soit $g_i(r)$ le rang de l'option r dans le classement d'un individu i :

$$\text{Proba}(g_i(1)\ldots g_i(K)) = \prod_{1}^{K} \frac{\exp(cu_i)}{\sum_{h/g(h)\geq g(k)} \exp(cu_i(h))}$$

La probabilité du résultat de l'expérience complète sur N individu est alors :

$$P = \prod_{i=1}^{N} \text{Proba}(g_i(1),\ldots,g_i(k))$$

Cette probabilité P est une fonction des paramètres du modèle : $P = P(c, b)$
Les estimations de c et de b sont obtenues par la méthode du maximum de vraisemblance : $(c, b) = \underset{c,\, b}{\text{Argmax}}\ P(c, b)$

Afin de sélectionner les variables explicatives, il est nécessaire de disposer d'un test de significativité sur les coefficients b. Pour cela, on utilise le test du ratio de vraisemblance :

.Sous l'hypothèse nulle on suppose que la valeur du temps ne dépend pas des variables explicatives : a(x) est constant indépendant de x
$a(x) = G$

.Sous l'hypothèse alternative, on suppose que la valeur du temps dépend d'une variable. Dans le cas où cette variable est qualitative et comporte l modalités, la dimension du vecteur b des coefficents associés est (l - 1). Dans le cas où la variable est quantitative, ce vecteur est de dimension 1.
Le principal résultat s'énonce sous la forme suivante, si P_0 et P_1 sont les valeurs maximum des vraisemblances respectivement sous hypothèse nulle et sous hypothèse alternative.

$T = -2 (\mathrm{Log}\, P_0 - \mathrm{Log}\, P_1)$ suit asymptotiquement une loi du X_2 à q degrés de liberté, où q est la dimension du vecteur des coefficients ($q = 1$ ou $q = l - 1$)

Le test associé au niveau α (= 95%, 90%, 80%) consiste donc à refuser l'hypothèse nulle si $T \geq X_{2\alpha}$ (l)

4. MODELE D'ESTIMATION

La forme générale de "la courbe tarifaire" utilisée est une courbe croissante convexe du plan (temps gagné, prix payé).
Les points de la courbe tarifaire retenus sur Marseille et Grenoble étaient les suivants.

Couples (temps-prix)

	MARSEILLE			GRENOBLE	
	TEMPS	PRIX		TEMPS	PRIX
O	0	0	O		
A	6	2	A	6	2
B	10	5	B	10	5
C	13	9	C	13	9
D	15	15	D	15	15

Notons cette courbe $p = f(t)$. Evidemment seul un nombre fini de points de cette courbe est représenté sur les options soumises à classement. Sans perte de généralité, on peut représenter l'ordre de classement des points de la courbe tarifaire par une fonction d'utilité individuelle u. Le point A de la courbe est préféré au point B si $u(A) > u(B)$.
La fonction d'utilité individuelle u est a priori une fonction des deux variables (t,p) croissante en t et décroissante en p. En restreignant le domaine de variation des points (t,p) à la courbe tarifaire on peut définir une fonction v d'une seule variable définie par $v(t) = u(t, f(t))$.La discussion peut alors se restreindre à l'étude de la fonction v.
Un certain nombre de propriétés de v sont intéressantes.

4.1. v unimodale

v est unimodale lorsqu'elle est croissante puis décroissante lorsque t augmente.
Si t est le mode :
$t_1 < t_2 < t < t_3 < t_4$:
$v (t_1, f (t_1)) < v (t_2, f (t_2)) < v (t, f(t))$
et $v (t_4, f (t_4)) < v (t_3, f (t_3)) < v (t, f(t))$

Il est facile de voir alors que la valeur du temps marginale m (consentement à payer pour gagner 1 minute) vérifie la propriété suivante :

$t < t^*$ $\quad m < f'(t)$

$t = t^*$ $\quad m = f'(t)$

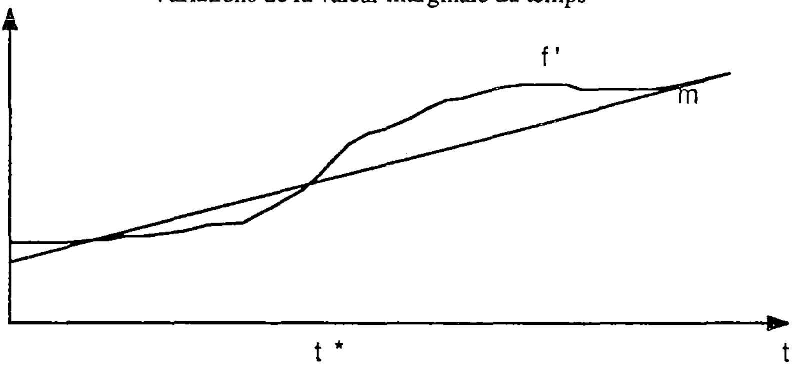
$t > t^*$ $\quad m > f'(t)$

Remarquons que si u est convexe (la valeur du temps marginale est constante ou décroissante avec le temps) alors l'unimodalité est vérifiée.

4.2 v comporte plusieurs maximums

Dans ce cas, on peut conclure avec certitude à la présence de seuils dans les valeurs du temps individuelles.
Si t_1 et t_2 sont les deux maximums alors il existe une valeur de t, t entre t_1 et t_2 telle que pour des gains de temps inférieurs à t la valeur du temps est faible (< f'(t)) et pour des temps supérieurs à t la valeur de temps est forte ((> f'(t)). Sur le schéma suivant on représente les variations de la valeur marginale du temps. Le seuil se traduit par une courbe en S.

Variations de la valeur marginale du temps



.70% (resp 74%) des individus interrogés satisfont à la propriété d'unimodalité sur Marseille (resp Grenoble).
.12% (resp 14%) des individus interrogés présentent des préférences "bi-modales".
Plus du quart des individus interrogés ont des valeurs marginales du temps présentant un seuil.Cette proportion est relativement stable d'une expérience sur l'autre.

4.3. Hypothèse de linéarité

L'hypothèse de linéarité consiste à supposer que u (t, p) est de la forme max (o, (at - p)).Si n est le nombre de points de la courbe tarifaire, seul un petit nombre de classements parmi les n! répondent à cette hypothèse.

Classements correspondants à une utilité linéaire

	MARSEILLE	GRENOBLE	VAL DU TPS f/h
$A > B \geq C \geq D$	51,1 %	57,4 %	< 45
$B > A \geq C \geq D$	5,6 %	7,9%	45 < a < 60
$B > C > A \geq D$	2,3 %	2,3 %	60 < a < 80
$C > B \geq A \geq D$	2,3 %	0,6 %	80 < a < 90
$C > B > D > A$	0,4 %	0,6 %	90 < a < 120
$C > D > B \geq A$	1,8 %	1,1 %	120 < a < 180
$D > C \geq B \geq A$	3,2 %	5,1 %	> 180
EMSEMBLE	66,8 %	75 %	

Il est à noter qu'un individu sur deux a une très faible valeur du temps.

5. PRINCIPAUX RESULTATS

5.1 Estimation de la valeur du temps

Modèles d'hypothèse nulle
(valeur du temps indépendante des caractéristiques individuelles).

Valeur du temps	Marseille	Grenoble
F/min	0,77	0,66

Modèles simples (une variable explicative)
(estimations effectuées sur 4 options : A, B, C, D)

		MARSEILLE		GRENOBLE	
REVENU MENSUEL	<10000 F	0,77	non significatif	0,61	non significatif
	> 10000 F	0,77		0,70	non significatif
AGE	18-24	0,74	non significatif en 4 classes significatif en 2 classes: < 55 > 55	0,56	significatif à 90%
	25-34	0,74		0,84	
	35-54	0,73		0,55	
	55 et +	0,84		0,78	
SEXE	Hommes	0,81	significatif à 90 %	0,67	non significatif
	Femmes	0,72		0,65	
MOTIF	DOM/TRA	0,63	significatif à 80%	0,46	significatif à 85%
	LOISIR	0,77		0,63	
	PROF.	0,90		0,72	
ACTIVITE	actif	0,75	non significatif	0,63	significatif à 80 %
	non-actif	0,81		0,77	
FREQUENCE	> 3/sem		NON TESTE	0,51	significatif à 95%
	0,5 à 3			0,84	
	< 0,5			0,61	

AGE - ACTIVITE - FREQUENCE

	18-34	35-54	55 et +
Actif	0,74	0,74	0,83
Non actif	0,75	0,75	0,84
MARSEILLE			

(Fréquence non testée)

		18-34	35-54	55 et +
> 2/sem	Actif	0,35	0,31	0,44
	Non actif	0,44	0,40	0,53
< 2/sem	Actif	0,66	0,62	0,75
	Non actif	0,74	0,70	0,83
GRENOBLE				

AGE - MOTIF

	18-34	35-54	55 et +
DT	0,62	0,38	0,57
Loisir	0,74	0,74	0,84
Prof.	0,89	0,88	0,98
MARSEILLE			

	18-34	35-54	55 et +
DT	0,53	0,38	0,57
Loisir	0,68	0,52	0,71
Prof.	0,76	0,61	0,80
GRENOBLE			

(DT : Domicile-Travail)

MOTIF - ACTIVITE - FREQUENCE

	DT	LOISIR	PRO.
Actif	0,62	0,74	0,90
Non actif	-	0,81	-
MARSEILLE			

		DT	LOISIR	PROF
> 2/sem	Actif	0,31	0,44	0,45
	Non actif	-	0,55	-
< 2/sem	Actif	0,57	0,71	0,72
	Non actif	-	0,81	-
GRENOBLE				

5.2 Variables explicatives de la valeur du temps

Une première approche vise à caractériser les classements obtenus en fonction des données socio-économiques définissant leurs auteurs. La méthode la plus simple consiste à croiser les valeurs du temps révélées par le classement avec les variables descriptives des individus concernés. Nous ne présenterons que les tris croisés de variables les plus significatifs.La distribution de l'ensemble des individus selon la valeur du temps révélée par leur classement, est présentée dans le tableau suivant:

valeur du temps f/h	MARSEILLE	GRENOBLE
< 45	51,1%	57,4%
45 à 60	5,6%	7,9%
60 à 80	2,3%	2,3%
80 à 90	2,3%	0,6%
90 à 120	0,4%	0,6%
120 à 180	1,8%	1,1%
> 180	3,2%	5,1%
TOTAL	100	100

Voyons maintenant comment évolue cette distribution lorsqu'on tient compte des caractéristiques des individus.

DISTRIBUTION SELON LE SEXE

	MARSEILLE		GRENOBLE	
valeur du temps f/h	homme %	femme %	homme %	femme %
< 45	77,1	75,9	74,2	78,8
45 à 60	7,6	9,3	12,1	9,1
60 à 80	3,8	3,1	4,5	1,5
80 à 90	3,2	3,7		1,5
90 à 120	1,3			1,5
120 à 180	3,2	2,5	1,5	1,5
> 180	3,8	5,6	7,6	6,1
total	100	100	100	100

DISTRIBUTION SELON LE REVENU

	MARSEILLE		GRENOBLE	
valeur du temps f/h	haut rev %	bas rev%	haut rev%	bas rev%
< 45	71,8	78,1	73,6	80,0
45 à 60	10,9	8,2	13,2	8,3
60 à 80	4,6	2,7		6,7
80 à 90	4,6	3,4	1,9	
90 à 120	4,6	3,4	1,9	
120 à 180	0,9		1,9	1,7
> 180	3,6	4,8	7,6	3,3
total	100	100	100	100

DISTRIBUTION SELON L'ACTIVITE

	MARSEILLE		GRENOBLE	
valeur du temps f/h	actif %	non actif%	actif	nonactif%
< 45	74,3	82,6	75,2	81,5
45 à 60	9,4	5,8	11,4	7,4
60 à 80	3,4	3,5	2,9	3,7
80 à 90	4,3	1,2		3,7
90 à 120	0,9		0,9	
120 à 180	3,4	1,2	0,9	3,7
> 180	4,3	5,8	8,6	
total	100	100	100	100

DISTRIBUTION SELON LE MOTIF DU DEPLACEMENT

	MARSEILLE			GRENOBLE		
valeur du temps f/h	DomTrav	Loisirs	Profession	DomTrav	Loisirs	Profession
< 45	75,0	77,7	66,7	90,0	64,0	77,0
45 à 60	14,3	8,0	7,4	10,0	16,0	9,2
60 à 80	3,6	3,8			8,0	2,3
80 à 90		2,7	14,8			1,1
90 à 120		0,4	3,7			1,1
120 à 180		3,0	3,7		4,0	1,1
> 180	7,1	4,6	3,7		8,0	8,0
total	100	100	100	100	100	100

Pour interpréter ces tableaux, il faut avoir recours à une mesure de distance permettant de comparer les consentements à payer. On peut par exemple utiliser les moyennes pondérées par les valeurs du temps. Nous avons adopté des centres de classe de valeur du temps (rsp 22,5; 52,5; 70; 85; 105; 150 et 180 F/H) et calculé les consentements à payer moyens.

		MARSEILLE	GRENOBLE
SEXE	homme	5,68	6,02
	femme	5,85	5,66
REVENU	haut	6,00	6,21
	bas	5,6	5,08
ACTIVITE	actif	5,93	6,11
	nonactif	5,32	4,79
MOTIF	dom-travail	5,68	3,64
	loisir	5,67	6,97
	professionnel	6,8	6,02

On constate donc que le consentement à payer des hommes est plus élevé à Grenoble qu'à Marseille. Par ailleurs, la structure est inversée d'une ville à l'autre puisqu'à Marseille, les femmes ont un consentement à payer faiblement plus élevé que les hommes, tandis qu'à Grenoble il est beaucoup moins élevé. Concernant la variable revenu, elle joue dans le même sens dans les deux villes quoique l'écart entre haut et bas revenu soit plus grand à Grenoble. Ces résultats peuvent être rapproché de ceux obtenus par le modèle logit, en particulier du point de vue de la significativité des coefficients. De même, les actifs ont ici un consentement à payer plus élevé dans les deux villes.

6. CONCLUSION

Deux remarques importantes s'imposent ici :

Les résultats présentés ne font intervenir les classements que sur les options présentant un gain de temps fixe. Or parmi les options présentées aux personnes interrogées, certaines faisaient état d'un gain de temps non certain schématisé par une fourchette. On s'attend, conformément à une hypothèse d'aversion pour le risque, à voir ces options classées derrières celles faisant état d'un temps gagné certain égal à la valeur centrale de la fourchette. Or, dans le cas de Marseille, ces options sont souvent classées devant les options à gain de temps certain. on peut trouver plusieurs justifications différentes (entre lesquelles on ne peut malheureusement pas trancher), à ce type de comportement.

. La première serait de conclure à un comportement "joueur" de la part des automobilistes marseillais.

. La seconde tient au caractère trop schématique de la présentation de l'aléa. Il était implicite, dans le raisonnement qui a présidé l'élaboration des options, que l'on proposait un arbitrage entre, à prix égal, une option à temps gagné certain t et une option dans laquelle le temps gagné pouvait varier entre t - d et t + d. Or, dans le cas où la valeur individuelle du temps gagné croît avec le temps gagné, le comportement consistant à préférer l'option aléatoire est rationnel sans pour autant traduire une préférence pour le risque.

Cette situation constitue un "paradoxe" relativement fréquent lorsqu'on veut formaliser l'attitude devant le risque.

. La troisième tient aux probabilités implicites accordées aux temps présentés comme aléatoires : un individu peut se dire qu'il fera en sorte d'utiliser l'infrastructure lorsque le temps gagné sera maximal. Autrement dit la probabilité (individuelle) attachée à la valeur maximale du temps est nettement plus forte que celle attachée à la plus faible des valeurs de temps gagné.

Enfin, et c'est la seconde remarque, il faut noter que les variables significatives sont différentes sur chacun des sites enquêtés. Les explications envisageables sont de deux types: soit les sites sont de natures différentes et les caractéristiques recueillies aux cours des enquètes ne permettent pas de prendre en considération cette dissemblance structurelle, soit la composante "culturelle" des individus est importante dans la détermination de leur comportement en matière de déplacement.