

**LA VALEUR DU TEMPS POUR LES DÉPLACEMENTS
À LONGUE DISTANCE :
UNE ÉVALUATION SUR DONNÉES FRANÇAISES**

HAKIM HAMMADOU, HUBERT JAYET
MEDEE

FACULTÉ DES SCIENCES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES
UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

1. INTRODUCTION¹

La valeur du temps est un paramètre clef des analyses de coûts-bénéfices appliquées aux projets d'infrastructures de transports. La raison en est simple : les gains de temps sont l'avantage principal que retirent les usagers, directement ou indirectement, de la mise en place de ces infrastructures. Et, pour comparer ces gains de temps aux autres bénéfices et aux coûts, il faut en faire une mesure monétaire dont l'ingrédient essentiel est le taux marginal de substitution des usagers entre leurs ressources matérielles et leurs ressources temporelles, c'est-à-dire la valeur du temps. Dans les conditions actuelles

¹ Les auteurs remercient Michel HOUÉE et Christian CALZADA, du Service des Études et de la Statistique du Ministère de l'équipement pour la fourniture des données et pour le soutien financier de ce travail.

d'évaluation des projets fixées par la circulaire « IDRAC », les gains de temps ainsi mesurés représentent souvent de 30 % à 40 % des gains totaux.

D'où l'importance d'une bonne mesure de ce paramètre. En effet, compte tenu de son poids, il suffit de modifier légèrement sa valeur pour modifier fortement le résultat des évaluations : une valeur plus élevée poussant à l'acceptation des projets, une valeur plus faible à leur rejet. Aussi n'est-il pas étonnant que cette question occupe une place importante dans le récent rapport du Commissariat Général du Plan sur le choix des investissements et le coût des nuisances dans les transports (BOITEUX, 2001).

Or, de ce point de vue, la situation est peu satisfaisante, en France du moins. On trouvera en annexe 1 les principales mesures disponibles pour notre pays. Peu nombreuses, elles reposent souvent sur des bases méthodologiques peu claires. Il est donc nécessaire de fournir des évaluations établies de manière rigoureuse, tant sur le plan des modèles théoriques qui les fondent que du point de vue des méthodes économétriques qui ont permis d'estimer les paramètres sur la base desquels elles sont calculées.

C'est ce que nous proposons de faire dans cet article, pour les déplacements de voyageurs à longue distance. Dans la section qui suit, nous présenterons brièvement les principaux modèles théoriques actuellement disponibles dont on peut dériver une forme fonctionnelle estimable permettant ensuite l'évaluation des valeurs du temps. Dans la troisième section, nous présenterons l'échantillon utilisé pour estimer ces modèles, tiré de l'enquête transports 1993-1994. Enfin, dans la quatrième section, nous présenterons les principaux résultats et les valeurs du temps auxquelles ces estimations aboutissent. L'apport essentiel de cette section et de notre article, est de permettre, grâce à l'utilisation systématique des mêmes données et d'une méthodologie économétrique unifiée, une comparaison rigoureuse des principaux modèles théoriques disponibles et des valeurs auxquelles conduit leur estimation.

2. LES MODÈLES THÉORIQUES DISPONIBLES

Même si l'on peut noter l'existence de quelques travaux précurseurs, la très grande majorité des modèles actuels utilisent le cadre de la théorie de l'allocation des ressources temporelles de BECKER (1965). Dans ce dernier, l'agent répartit son temps et les marchandises qu'il achète entre différentes activités qui lui permettent de produire des biens ou services personnels finaux, seuls sources d'utilités. Il en résulte à l'optimum une valeur du temps unique, l'agent égalisant les taux marginaux entre ressources temporelles et matérielles utilisées pour chaque activité.

De nombreux auteurs ont enrichi ce modèle de base, en précisant ses déterminants et en introduisant de nouveaux facteurs et de nouvelles contraintes permettant d'expliquer l'existence de valeurs du temps variables

d'une activité à l'autre, plus compatibles avec l'observation que la valeur unique de BECKER. La plus marquante est celle de DE SERPA (1971 ; 1973) qui, en introduisant des contraintes sur les durées nécessaires à certaines activités, aboutit à deux types de valeurs du temps : la valeur du temps comme ressource, identique à celle de BECKER, est comme elle commune à toutes les activités ; la valeur d'une économie de temps dans une activité donnée, associée au relâchement de la contrainte spécifique à cette activité, varie d'une activité à l'autre. Or, seule cette dernière est directement mesurable.

D'autres contributions notables sont celles de OORT (1969), pour lequel le temps peut être en lui-même source d'agrément et de désagrément ; de SMALL (1982), pour lequel les différentes périodes de la journée ne sont pas équivalentes entre elles ; d'EVANS (1972) et de JARA-DIAZ (1994) qui s'intéressent à une fonction d'utilité qui ne dépend que du temps consacré aux différentes activités et qui introduisent des liaisons entre durées consacrées à chacune d'entre elles ; d'HENSHER (1995) qui s'intéresse aux valeurs du temps dans le cadre des déplacements professionnels ; de O'DEA (1994) qui propose une modélisation complètement intégrée du transport et des différentes activités.

Dans le domaine des transports, conformément à la proposition de TRAIN et MCFADDEN (1978), ces modèles conduisent à des applications économétriques analysant le choix entre différents modes de transport, chacun offrant un compromis particulier entre coût de transport et durée de déplacement. Nous analyserons les différentes propositions possibles en partant du cadre proposé par BATES et ROBERTS (1986) qui, en reprenant chez DE SERPA (1971) l'idée des durées minimales de déplacement, formulent le choix du consommateur de la manière suivante :

$$\text{Max } U(x, t_0, t_1, t_2, \dots, t_m)$$

sous les contraintes

$$px + \sum_{i=1}^m \delta_i p_i = R$$

$$t_0 + \sum_{i=1}^m \delta_i t_i = T$$

$$t_i \geq \bar{t}_i, \quad i = 1, \dots, m$$

où x est la consommation d'un bien composite de prix p , t_0 le temps de consommation correspondant ; (t_1, \dots, t_m) et (p_1, \dots, p_m) sont respectivement les vecteurs de temps et de prix associés aux m modes de transport mis à la disposition de l'utilisateur et le vecteur $(\delta_1, \dots, \delta_m)$ regroupe des variables indicatrices du choix modal, égales à l'unité pour le mode choisi et à zéro pour les autres.

En écrivant les conditions du premier ordre associées à la résolution de ce programme et en faisant une approximation au premier ordre de la fonction

d'utilité indirecte qui en résulte, on aboutit à :

$$U \approx a + \frac{\partial U}{\partial x} x + \frac{\partial U}{\partial t_0} t_0 + \sum_{i=1}^m \delta_i \frac{\partial U}{\partial t_i} t_i \approx \bar{a} + \lambda \left(R - \sum_{i=1}^m \delta_i p_i \right) + \mu T - \sum_{i=1}^m \delta_i k_i t_i$$

où λ et μ sont les multiplicateurs de la contrainte de budget et de la contrainte temporelle et les k_i sont les multiplicateurs des contraintes spécifiques à chaque mode. Sachant que le consommateur choisit le mode de transport qui maximise son utilité, V est le maximum des V_i , où

$$V_i = a_i - \lambda p_i - k_i t_i$$

la constante a_i regroupant l'ensemble des termes ne dépendant pas du coût ni du temps et des termes qui, non spécifiques à un mode de transport, disparaissent lors de la comparaison entre deux modes.

L'opportunité de ce résultat est incontestable puisqu'il justifie totalement la pratique courante, qui fait largement appel aux formes en termes de coût généralisé. De plus, on peut maintenant sans équivoque possible définir la valeur d'une économie de temps pour les déplacements par le mode i comme le rapport des coefficients du temps et du prix :

$$VTTS_i = \frac{\partial V_i / \partial t_i}{\partial V_i / \partial p_i} = \frac{k_i}{\lambda}$$

Cependant, la forme analytique proposée est linéaire et débouche sur une formulation en termes d'utilité marginale constante qui s'oppose à la fois à la règle économique de l'utilité marginale décroissante et au « bon sens » qui veut qu'une heure économisée sur un trajet de deux heures n'a pas la même valeur qu'une heure économisée sur un trajet de quinze heures ou encore, qu'une heure économisée n'a pas la même valeur qu'une heure perdue (au signe près).

En reprenant une suggestion de TRUONG et HENSHER (1985b), on peut envisager une extension où la valeur du temps est fonction du temps de déplacement et du prix. Pour cela, on part du fait que, le coût p_i et la durée minimale t_i pour le mode i étant des paramètres du problème de maximisation de l'utilité, les valeurs optimales des multiplicateurs de Lagrange, en particulier les k_i de l'équation $V_i = a_i - \lambda p_i - k_i t_i$, sont fonction de p_i et de t_i , soit $k_i = k(t_i, p_i)$. En faisant une approximation linéaire de Taylor au premier ordre au voisinage du point moyen de coordonnées \bar{t} et \bar{p} pour chacune des alternatives i , nous obtenons l'expression suivante :

$$k_i = \bar{k} + (\partial k / \partial t)_i (t_i - \bar{t}) + (\partial k / \partial p)_i (p_i - \bar{p}) .$$

En combinant les deux expressions précédentes, nous obtenons :

$$V_i = a_i - \lambda p_i - \bar{k} t_i + (\beta t_i^2 + \gamma p_i t_i + \omega)$$

où $\beta = (\partial k / \partial t)_i$, $\gamma = (\partial k / \partial p)_i$ et $\omega = -\beta \bar{t} - \gamma \bar{p}$. On en dérive l'expression suivante de la valeur du temps :

$$VTTS_i = \frac{\partial V_i / \partial t_i}{\partial V_i / \partial p_i} \Big|_{V=V_i} = \frac{-\bar{k} + \gamma p_i + 2\beta t_i}{-\lambda + \gamma t_i}$$

Nous voyons maintenant que la valeur du temps est bien dépendante du temps de déplacement t_i et du coût p_i . Malheureusement, nous ne pouvons pas donner la nature des effets des variables durée de trajet et coût de déplacement sur la valeur du temps. Nous devons recourir à une estimation économétrique de cette relation pour préciser la nature des effets.

CAUSSE (1999) a proposé une démarche alternative qui permet une dérivation générale de la forme analytique générale des V_i et la construction d'expressions de la valeur du temps intégrant l'impact sur cette dernière du temps de déplacement, du revenu et du prix du déplacement. En désignant l'ensemble des paramètres du problème de maximisation du consommateur par le vecteur $a = (R, T, p, p_1, \dots, p_m, \bar{t}_1, \dots, \bar{t}_m)$, la fonction d'utilité indirecte s'écrit sous la forme $V(a)$ et un développement limité au premier ordre autour du point moyen $(\bar{R}, \bar{p}, \bar{t}_i)$ conduit à :

$$V_i \approx cste - \tilde{\alpha} p_i + \frac{1}{2} \beta p_i^2 + \tilde{\delta} \bar{t}_i - \frac{1}{2} \xi \bar{t}_i^2 - \gamma p_i \bar{t}_i - \beta R p_i + \gamma R \bar{t}_i$$

où la constante regroupe tous les termes qui n'interviennent pas dans le choix modal et les différents paramètres sont obtenus de la manière suivante :

$$\tilde{\alpha} = \alpha - \beta \bar{R} + \beta \bar{p}_i - \gamma \bar{t}_i$$

$$\beta = \left. \frac{\partial \lambda}{\partial R} \right|_{R=\bar{R}} = - \left. \frac{\partial \lambda}{\partial p_i} \right|_{p_i=\bar{p}_i}$$

$$\gamma = \left. \frac{\partial \lambda}{\partial \bar{t}_i} \right|_{\bar{t}_i=\bar{t}_i} = - \left. \frac{\partial k_i}{\partial R} \right|_{R=\bar{R}} = \left. \frac{\partial k_i}{\partial p_i} \right|_{p_i=\bar{p}_i} = \left. \frac{\partial^2 V}{\partial R \partial \bar{t}_i} \right|_{\substack{R=\bar{R} \\ \bar{t}_i=\bar{t}_i}}$$

$$\tilde{\delta} = -\delta - \gamma \bar{R} + \gamma \bar{p}_i + \xi \bar{t}_i$$

$$\xi = \left. \frac{\partial k_i}{\partial \bar{t}_i} \right|_{\bar{t}_i=\bar{t}_i} = \left. \frac{\partial^2 V}{\partial \bar{t}_i^2} \right|_{\bar{t}_i=\bar{t}_i}$$

On obtient une forme polynomiale qui préserve les fondements théoriques du programme allocatif et dépasse les critiques relatives à la constance des utilités marginales et à l'unicité des valeurs du temps de transport, adressées au modèle en terme de coût généralisé. Des fonctions de valeurs du temps peuvent dorénavant en être dérivées via le calcul suivant :

$$VTTS_i = \frac{\partial V_i / \partial t_i}{\partial V_i / \partial p_i} = \frac{\tilde{\delta} - \xi \bar{t}_i - \gamma p_i + \gamma R}{-\tilde{\alpha} + \beta p_i - \gamma \bar{t}_i - \beta R}$$

La valeur du temps dépend du revenu, du coût et du temps de déplacement. La fonction de valeur du temps proposée par CAUSSE ne présume pas de la nature des effets de ces variables sur celle-ci.

La formulation de la fonction d'utilité indirecte proposée par CAUSSE peut être difficile à estimer, car il y a un fort risque de multicollinéarité. C'est pourquoi nous proposons une forme plus simple, qui a l'avantage de conserver les conclusions du modèle de CAUSSE tout en étant plus facile à

mettre en œuvre. Pour ce faire, nous croisons le temps et le revenu de telle sorte que l'on puisse utiliser ce dernier lorsque l'on dérive la fonction d'utilité indirecte. La proposition de TRUONG et HENSHER (1985b) se prête bien à la réalisation de ce croisement. Comme nous disposons d'une variable de revenu par tranche, dont des essais antérieurs ont montré qu'elle était nettement préférable à une variable en niveau², l'introduction du revenu comme paramètre conduit à une fonction d'utilité indirecte de la forme suivante :

$$V_i = cste - \alpha_i p_i - \sum_{k=1}^K \varphi_{i,k} R_k t_i + \xi_k t_i^2$$

où $R_k = 1$ si l'individu appartient à la tranche de revenu k , 0 sinon. La valeur du temps qui découle de la fonction d'utilité indirecte s'exprime de la manière suivante :

$$VTTS_i = \frac{\partial V_i / \partial t_i}{\partial V_i / \partial p_i} = \frac{-\sum_{k=1}^K \varphi_{i,k} R_k + 2\xi_k t_i}{-\alpha_i}$$

Nous pouvons ainsi déterminer la valeur du temps d'un individu ayant un revenu appartenant à la tranche k , et effectuant un déplacement d'une durée de t avec le mode i :

$$VTTS_{i,k} = \frac{\partial V_i / \partial t_i}{\partial V_i / \partial p_i} = \frac{-\varphi_{i,k} + 2\xi_k \cdot t}{-\alpha_i}$$

Cette fonction de valeur du temps intègre les hypothèses faites précédemment, c'est-à-dire qu'elle tient compte du lien entre la valeur du temps et le revenu, et de la durée du trajet.

3. LA MODÉLISATION ÉCONOMÉTRIQUE ET LES DONNÉES

Les modèles théoriques précédents servent de base à la formulation de modèles économétriques de choix modal qui, appliqués à un échantillon de déplacements à longue distance tiré de l'enquête transports de voyageurs 1993-1994, permet d'en estimer les paramètres.

Considérons une population de N voyageurs indicés chacun par n , $n = 1, \dots, N$, confrontés à un ensemble d'alternatives ou de modes de transport $i = 1, \dots, J$. L'utilité U_{in} que retire l'individu n du choix du mode i prend la forme suivante : $U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$, où V_{in} est l'utilité indirecte dérivée du modèle théorique et ε_{in} est un terme aléatoire regroupant l'ensemble des déterminants non pris en compte par le modèle. En faisant des hypothèses sur la distribution de probabilité conjointe des termes d'erreur, ε_{in} , on peut en dériver tous les modèles de choix multinomial usuels. En particulier, on

² Dans l'enquête transports 93-94, la variable en niveau est souvent mal renseignée, contrairement au découpage en tranches de revenus.

obtient le modèle logit multinomial classique quand les termes aléatoires sont indépendants les uns des autres et identiquement distribués suivant une loi de GUMBEL de paramètres (0,1). La probabilité $P_n(i)$ d'observer le choix i résultant d'une décision de l'individu n est alors donnée par :

$$P_n(i) = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_j \exp(V_{jn})}$$

Nous avons fait nos estimations en utilisant les données de l'enquête transports 93-94 et pour trois modes de transport : la voiture, le train et l'avion. L'enquête décrit plus de 34 000 déplacements à longue distance avec environ 28 800 couples origine-destination (OD) distincts. L'idéal aurait été d'exploiter l'ensemble de ces déplacements (voiture, train et avion). Mais il aurait fallu coder le temps et le coût de déplacement³ pour chacun des modes de transport et sur chacune des OD décrites par l'enquête, d'où des difficultés importantes pour les couples origine-destination peu fréquentés. De ce fait, un travail exhaustif n'est pas envisageable, du moins dans des délais raisonnables. Nous avons donc été dans l'obligation de réduire le nombre d'observations.

A cette fin, nous avons construit un échantillon en combinant deux principes. Le premier est un principe d'économie : sélectionner des déplacements effectués sur les OD les plus fréquentées, afin de faire des économies d'échelle dans les coûts de codage de l'offre. Le deuxième est un principe de représentation : sachant que la voiture est très largement dominante, il fallait préserver une bonne représentation des modes minoritaires, le train et l'avion, tout en évitant d'éventuels biais de sélection de l'échantillon. Ce qui nous a conduit à travailler au niveau des zones d'emploi pour la construction de l'échantillon en sélectionnant celles qui sont localisées sur les quatre axes partant de l'Île-de-France et disposant d'une desserte TGV : vers le Nord-Pas-de-Calais (axe Nord) ; vers Lyon et Marseille (axe Sud-Est) ; vers Rennes, Brest et Quimper (axe Ouest) ; vers Bordeaux, Toulouse et le Pays Basque (axe Sud-Ouest). Les déplacements réalisés sur ces axes représentent un échantillon de 7 747 déplacements réalisés par 2 327 individus, avec des parts modales de 78,2 % pour la voiture, de 17,6 % pour le train et de 4,2 % pour l'avion.

Comme le fait apparaître le tableau de l'annexe 2, il n'y a pas de divergences de structure majeures entre l'échantillon ainsi constitué et l'ensemble de la population enquêtée. Par âge, on remarque surtout une moindre proportion dans l'échantillon des tranches les plus élevées au bénéfice des 20-39 ans. Par professions et catégories socioprofessionnelles, il y a une présence plus

³ Le temps de parcours est disponible dans l'enquête transport uniquement pour le mode utilisé par l'enquêté. On se voit donc dans l'obligation de construire le temps de déplacement pour les modes alternatifs. Concernant le coût de déplacement, cette variable n'est pas disponible du tout dans l'enquête. Elle doit être créée pour tous les modes de transport.

marquée des cadres et professions supérieures et des professions intermédiaires, au détriment des ouvriers et des agriculteurs. Cette différence est à relier au mode de sélection des zones, qui privilégie les aires les plus urbaines. Par taille de ménage, les différences sont très faibles. Par niveau d'équipement automobile, il y a une proportion plus importante de ménages multimotorisés, sans doute à relier au phénomène constaté ci-dessus concernant les PCS les plus élevées.

La construction de la base d'offre est décrite en détail dans HAMMADOU (2001). Nous n'en donnerons ici, brièvement, que les grandes lignes. Les descripteurs fondamentaux de l'offre sont les durées de déplacement et les coûts. Dans le cas de la voiture, nous avons constitué une matrice O-D de l'ensemble des déplacements effectués sur notre zonage et nous avons utilisé le logiciel de recherche automatique d'itinéraires *Way* qui, à partir d'hypothèses sur les vitesses et les consommations de carburant, détermine l'itinéraire le plus rapide et fournit une estimation du coût et du temps de déplacement sur le tronçon considéré.

Pour le train, nous avons calculé le temps de déplacement effectif en faisant la somme du temps d'accès à la gare, du temps de précaution (fixé à 15 mn), du temps de transport sur la ligne considérée et du temps d'arrivée à la destination finale. Les temps d'accès et d'arrivée à la destination finale ont été estimés sur la base de la distance domicile-gare, sauf pour l'Île-de-France où on a fait l'hypothèse d'un déplacement par les transports en commun. Pour le temps de transport, nous avons utilisé un fichier constitué par le Centre d'Etudes Supérieures en Aménagement (Université de Tours), à partir de la base horaire SNCF du service hiver 1993-94. Les coûts de transport ont été calculés en appliquant la tarification SNCF et en appliquant les réductions déterminées à partir des caractéristiques de la personne qui se déplace.

Pour l'avion, nous sommes partis d'une carte d'attractivité des aéroports constituée par nous-mêmes. Le codage des durées de déplacement a utilisé les mêmes méthodes que pour le train, avec un temps d'attente de 45 minutes. Pour les temps en avion, nous avons utilisé une base d'offre aérienne fournie par la DGAC, qui fait référence à l'ensemble des services aériens commerciaux réguliers du printemps 1995. Les informations sur les tarifs en classe économique figurant dans cette même base ont été mobilisées pour le calcul des coûts en avion.

4. LES RÉSULTATS D'ESTIMATION

4.1. LA CONFRONTATION DES MODÈLES

Nous avons estimé les différents modèles présentés en section 2 sur la base de données ainsi constituée, en n'utilisant dans un premier temps que les variables d'offre et de revenu. Les résultats détaillés d'estimation figurent en annexe 3.

Le cas le plus simple est celui du modèle de BECKER, avec pour seules variables explicatives le temps de transport et le coût de transport. Les coefficients associés à ces variables sont très significatifs et ont les signes attendus. On passe ensuite au modèle de DE SERPA en croisant le temps et le coût de transport avec le mode de transport, d'où un modèle logit conditionnel avec des coefficients spécifiques à chaque mode. Les estimateurs obtenus sont très significatifs, avec des différences sensibles entre coefficients pour chacun des modes.

La proposition de TRUONG et HENSHER conduit à l'introduction d'une interaction entre temps et coûts de transport. En l'absence de distinction entre les modes de transport, le coefficient de cette nouvelle variable n'est pas significativement différent de zéro. Le modèle initial de TRUONG et HENSHER ne distinguant pas les différents modes de transport, on peut le généraliser en estimant un modèle logit conditionnel, avec des coefficients associés au coût et au temps de transport spécifiques à chaque mode⁴. Les résultats d'estimation de ce modèle correspondent à la quatrième colonne du tableau de l'annexe 3. Ils ne sont pas satisfaisants : beaucoup de paramètres ne sont pas significatifs ou n'ont pas les signes attendus.

En cinquième colonne, on trouvera les résultats d'estimation du modèle de CAUSSE. Le paramètre associé à la variable d'interaction entre coût et revenu n'est pas significatif. On devrait donc s'attendre à une indépendance entre le prix du transport et la valeur du temps, ce qui contredit la proposition de TRUONG et HENSHER (1985b) et paraît difficilement acceptable. Nous avons alors réestimé le modèle sous forme conditionnelle, en distinguant les différents modes de transport, ce dont on trouvera les résultats en sixième colonne de l'annexe 3. Un test de rapport de vraisemblance montre que les coefficients de ces variables sont bien significativement différents les uns des autres. Mais la variable d'interaction entre coût et revenu est toujours non significative.

Les résultats des estimations précédentes nous ont conduit à faire une nouvelle tentative, dont on trouvera les résultats dans la septième et dernière colonne du tableau de l'annexe 3. Il s'agit d'un modèle qui combine des effets de revenu dus à des différences entre tranches de revenus et des effets de durée de déplacement, qui diffère du modèle de CAUSSE par le mode de prise en compte de l'effet revenu (ici, nous utilisons des tranches) et par la

⁴ Ce modèle correspond en fait au relâchement d'une hypothèse implicite de TRUONG et HENSHER (1985b). En effet, ce dernier introduit les effets du temps et du coût en faisant une approximation du premier ordre des multiplicateurs de Lagrange associés à la contrainte liant temps et coût de transport. Ce faisant, il néglige deux points importants : tout d'abord que les autres multiplicateurs de Lagrange dépendent également des paramètres et devraient donc faire l'objet de la même approximation ; et d'autre part que, les modes de transport ayant des points moyens différents, l'approximation à réaliser dépend du mode de transport. En réintroduisant ces deux points, on retrouve un modèle conditionnel.

suppression de l'interaction entre durée et revenu, non significative dans des essais préliminaires. Ce modèle offre une bonne lisibilité de l'effet des variables tranche de revenu et temps de transport. A titre d'exemple, plus le revenu de l'individu augmente, plus il est sensible au temps de transport en voiture (le coefficient de la variable temps passe de - 0,0089 pour la tranche de revenus la plus faible à - 0,012 pour la tranche de revenu la plus élevée).

4.2. LES VALEURS DU TEMPS

Chaque modèle permet de calculer une valeur du temps qui, suivant les cas, dépend ou non du mode de transport, de la durée du trajet ou du niveau de revenu. Afin d'assurer une comparabilité entre modèles, nous avons pour chacun d'entre eux calculé la valeur du temps pour les niveaux moyens de ces variables. Les résultats figurent dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Comparaison des valeurs du temps (F/heure), selon les modèles étudiés

Auteurs	Voiture	Train	Avion
BECKER	131	131	131
DE SERPA	280	199	202
DE SERPA (effets spécifiques par modes)	61	228	357
TRUONG, HENSHER	181	181	181
Modèle avec effet « durée de trajet »	152	201	245
CAUSSE	136	136	136
CAUSSE (effets spécifiques par modes)	124	258	236
Modèle avec effet « revenu et durée de trajet »	37	277	278

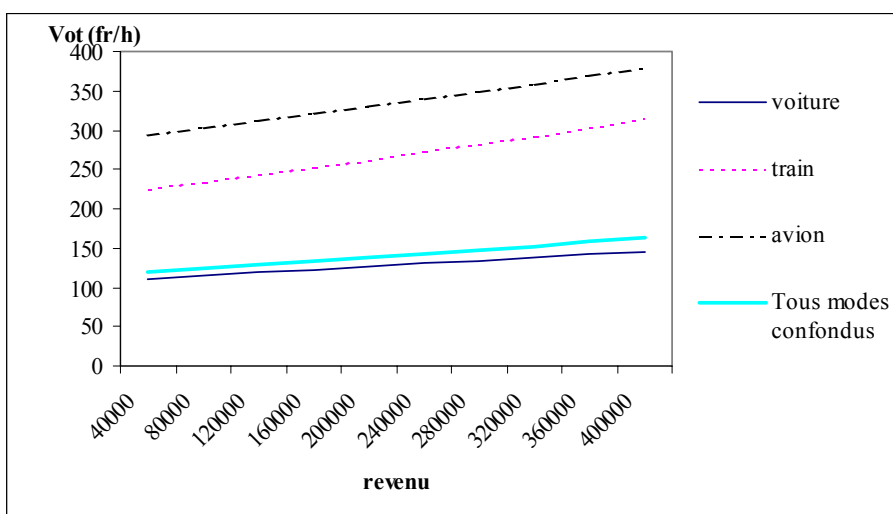
Le lien étroit entre le calcul de la valeur du temps et la fonction d'utilité indirecte, c'est-à-dire le cadre microéconomique dont elle découle, est nettement mis en évidence : il existe autant de valeurs du temps que de spécifications différentes, avec une très forte variabilité entre modèles. Ainsi, la valeur estimée pour la voiture va de 37 Fr/h pour le modèle à effet de revenu avec durée du trajet, à 280 fr/h pour le modèle de DE SERPA. Ces amplitudes sont tout aussi fortes pour les autres modes de transport. Les résultats sont rarement cohérents avec les évaluations antérieures, par exemple celles qui figurent dans le rapport BOITEUX.

Nous rappelons que nous avons effectué ces estimations des fonctions de valeurs du temps en utilisant une méthode d'estimation et des données identiques pour chacun des auteurs retenus. Si dans la littérature on trouve de nombreuses évaluations de ces modèles, il est impossible de les comparer entre eux. Car elles s'appliquent rarement sur les mêmes données et utilisent des méthodes d'estimation très diverses, c'est pourquoi le résultat que nous avons trouvé dans cet article n'a jamais été débattu dans la littérature. Dans notre cas, seule la variabilité de la forme fonctionnelle d'un modèle à l'autre est à l'origine des divergences quant à l'évaluation de la valeur du temps.

Juger du caractère vraisemblable d'une évaluation revient donc à juger les fondements théoriques du modèle et à apprécier la qualité de son adéquation aux données.

A notre avis, un modèle satisfaisant doit distinguer les différents modes de transport, incorporer un effet de la durée du trajet et des différences de comportement entre niveaux de revenu. La nécessité de la distinction entre modes de transport apparaît clairement au vu des estimations, généralement meilleures avec les modèles logits conditionnels qu'avec les modèles standards. Les Figures 1 et 2, calculées à partir de l'estimation du modèle de CAUSSE, illustrent bien l'intérêt de l'introduction d'effets de durée et de revenu. Ces variables influencent fortement et de manière statistiquement significative la valeur du temps, les effets étant cohérents avec la théorie économique. Les personnes ayant un revenu élevé sont prêtes à payer plus cher pour gagner du temps (Figure 1). La valeur du temps diminue avec la durée du trajet, les individus étant prêts à payer plus cher pour obtenir un gain de temps sur les déplacements les plus courts (Figure 2).

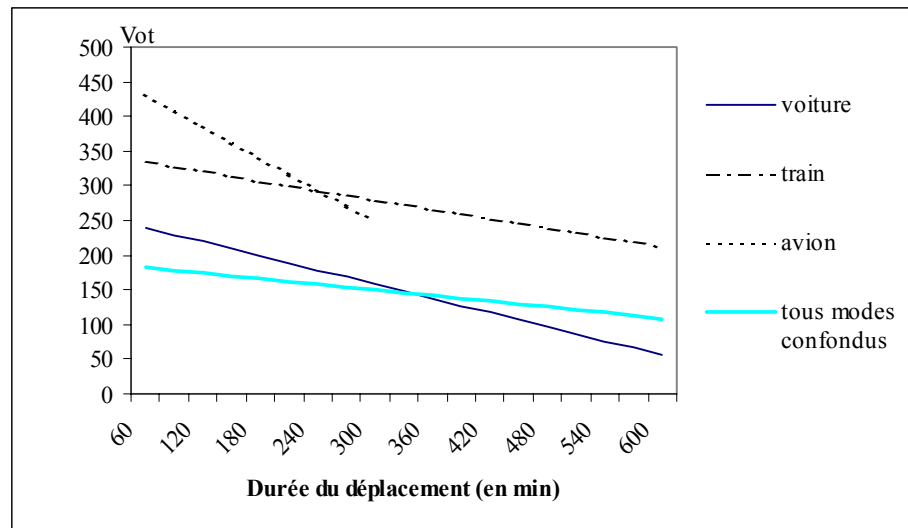
Figure 1 : Évolution de la valeur du temps en fonction du revenu



La décroissance des valeurs du temps avec la durée du déplacement peut surprendre. Elle va à l'encontre des propriétés usuelles recensées dans le rapport BOITEUX (BOITEUX, 2001 : 40) et du fait, connu depuis longtemps, que les valeurs du temps sont plus faibles pour les déplacements intra-urbains de courte durée que pour les déplacements interurbains. Nous pensons que les deux observations ne sont pas incompatibles. Des déplacements intra-urbains à courte distance aux déplacements interurbains à longue distance, on a un changement de nature et donc de type de substituabilité entre le temps de transport et les autres usages du temps. A l'intérieur des déplacements à longue distance, la décroissance des valeurs du temps traduit le fait qu'une économie de quelques minutes a un effet relatif plus important sur un

déplacement d'une heure ou deux que sur un déplacement d'une dizaine d'heures.

Figure 2 : Évolution de la valeur du temps en fonction de la durée du trajet



4.3. VALEUR DU TEMPS ET CHOIX MODAL

Des estimations de la section précédente, il ressort qu'un modèle satisfaisant doit avoir la double propriété de fournir des évaluations de la valeur du temps qui dépendent de la durée du déplacement et d'incorporer un effet du revenu. De ce point de vue, le modèle qui a nos préférences est celui qui combine effet de revenu et durée du trajet. Le modèle de CAUSSE est également intéressant de ce point de vue. Ces deux modèles reposent sur des fondements théoriques solides et passent convenablement les tests empiriques de la section précédente.

Il reste qu'ils n'ont pas encore été estimés pour un ensemble complet de déterminants du choix modal, avec un risque de biais dans l'estimation des valeurs du temps quand les facteurs omis sont corrélés aux variables d'offre. En conséquence, à ces dernières, nous avons ajouté des variables caractéristiques de l'individu (sexe, âge, catégorie socioprofessionnelle, nombre de véhicules du ménage et distance annuelle parcourue en voiture) et du déplacement (motif du déplacement, durée de séjour et taille du groupe). On trouvera en annexe 4 les résultats complets de ces estimations. Celles-ci confirment que si la valeur du temps est un élément important du choix modal, elle n'est pas la seule. La plupart des variables introduites ont des effets significatifs et dont le signe est conforme à ce qu'on peut en attendre.

Les valeurs du temps, calculées au point moyen pour chacun des modèles, sont présentées dans le Tableau 2. La prise en compte du choix modal dans l'évaluation des valeurs du temps affine considérablement l'estimation de

celles-ci. En effet, la comparaison des Tableaux 1 et 2 montre que les valeurs de ce dernier sont beaucoup plus réalistes. On ne peut donc dissocier l'étude de la valeur du temps de celle du choix modal.

*Tableau 2 : Comparaison des valeurs du temps (F/heure)
selon les modèles étudiés*

	Voiture	Train	Avion
DE SERPA (effets spécifiques par modes)	71	160	280
CAUSSE	141	163	330
Modèle avec effet « revenu et durée de trajet »	40	147	246

Les valeurs du temps de l'avion et du train sont maintenant situées dans des fourchettes plus habituelles. De plus, la hiérarchie des modes de transport en fonction de la valeur du temps apparaît plus nettement. Le modèle de CAUSSE fournit des montants élevés pour la valeur du temps en voiture (141 Fr/heure), alors que les deux autres modèles conduisent à des valeurs proches de celles qui sont fournies dans le rapport BOITEUX (comprises entre 41 et 82 F/heure). Par contre, pour les valeurs du temps en train et en avion, les trois modèles sont assez proches les uns des autres.

Les modèles testés sont une généralisation du modèle de base de DE SERPA. Or, le modèle le plus proche en termes d'évaluation de la valeur du temps est le modèle avec « effet revenu et durée de trajet ». De plus, dans le modèle de CAUSSE il convient de noter la présence endémique de colinéarités entre les variables observées, leurs carrés et leurs interactions. Sans que nous puissions évaluer les conséquences effectives, on sait qu'elles peuvent nuire à la qualité des estimations. En conséquence, nos préférences vont vers le premier modèle.

4.4. LES DIFFÉRENCES ENTRE MOTIFS

Les estimations faites jusqu'à présent regroupaient l'ensemble des motifs. Les différences entre motifs n'ont été prises en compte que dans les estimations de la sous-section précédente, par l'introduction d'une variable explicative supplémentaire, sans que cette dernière puisse induire des différences entre valeurs du temps associées aux différents motifs. Or, ne serait-ce que parce que les déplacements professionnels sont décidés par les employeurs, il n'y a pas de raison que les valeurs du temps correspondantes soient les mêmes que celles des déplacements privés. Ce qui nous a conduit à segmenter l'échantillon en procédant à des estimations séparées du modèle avec effets de revenu et de durée de déplacement pour, d'une part, les déplacements professionnels et d'autre part l'ensemble des motifs privés. On trouvera le détail des résultats d'estimation dans HAMMADOU (2001). Les différences entre motifs sont très significatives et la qualité globale des ajustements est sensiblement améliorée.

Nous avons calculé les valeurs du temps selon leurs motifs de déplacement au point moyen. Ces résultats figurent dans le Tableau 3. Quel que soit le mode de transport utilisé, les valeurs du temps du motif professionnel sont toutes supérieures aux valeurs du temps du motif privé, ce qui est conforme à l'intuition.

Tableau 3 : Valeur du temps selon le motif de déplacement, évaluée au point moyen

	Voiture	Train	Avion
Tous motif confondus	40	147	246
Privé	37	48	196
Professionnel	75	161	312

5. CONCLUSION

Le travail que nous avons présenté a pour originalité d'être une confrontation systématique, sur les mêmes données et en utilisant une méthodologie statistique uniforme, des différents modèles théoriques sur la base desquelles on peut estimer la valeur du temps. Le premier point qui frappe à l'analyse des résultats est la grande variabilité des valeurs obtenues. On peut certes considérer cette variabilité comme un peu artificielle car due pour partie à des modèles que, pour des raisons théoriques ou en raison de la qualité plus faible des estimations, nous avons de bonnes raisons d'écarter, comme par exemple les modèles ne distinguant pas les différents modes de transport. Elle n'en incite pas moins à la prudence, les résultats obtenus aujourd'hui sur la base des modèles les plus acceptables pouvant être remis en cause par de nouvelles propositions plus satisfaisantes.

Au niveau pratique, cette étude a le mérite d'éclairer les distorsions dans l'affectation des ressources susceptibles d'être générées par l'utilisation de valeurs du temps calculées à partir de modèles ayant des formes fonctionnelles trop simples comme les formes linéaires. Elle nous a également permis de montrer l'importance d'une bonne connaissance des variables d'offre, ainsi que des variables descriptives des caractéristiques socio-économiques de l'individu et du contexte de son déplacement.

C'est là que la méthodologie des préférences révélées que nous avons utilisée peut rencontrer une de ses limites. Il est en effet difficile, dans une enquête comme l'enquête transport, de bien connaître un certain nombre de facteurs ponctuellement importants, comme la nature des aléas auxquels est soumis le voyage (problèmes de correspondance), la nature de l'enchaînement des activités de l'agent une fois qu'il est arrivé à destination, les modalités de prise en charge du transport par l'employeur et des accords qu'il a pu passer avec des transporteurs. La disponibilité des données sera toujours ici une contrainte que l'usage de modèles statistiques de choix qualitatif ne permet

de traiter que de manière imparfaite. D'où l'intérêt de se tourner vers d'autres méthodologies, en particulier les préférences déclarées, qui permettent une exploration plus aisée et plus précise de l'univers des choix. Mais ces méthodologies ont aussi leurs limites, notamment quant à la fiabilité des déclarations obtenues. L'idéal serait, comme nous l'avons fait ici pour les modèles, de confronter sur des bases unifiées les différentes méthodologies.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BECKER G.S. (1965) A theory of the allocation of time. **The Economic Journal**, Vol. 75, pp. 493-517.

BOITEUX M. (2001) **Transports : choix des investissements et coût des nuisances**. Paris, La Documentation française.

BEN-AKIVA M., BOLDUC D. (1991) **Multinomial probit with autoregressive error structure**. Département d'économique, Université de Laval, Cahier 9123.

BLAYAC T., CAUSSE A. (2001) Value of travel time: a theoretical legitimization of some non-linear representative utility in discrete choice models. **Transportation Research. Part B**, n° 35, pp. 392-401.

CAUSSE A. (1999) **La valeur du temps de transport : de l'usage des théories micro-économiques de l'affectation du temps dans les modèles désagrégés aléatoires de transport**. Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier 1.

DE SERPA A. J. (1971) A theory of the economics of time. **Economic Journal**, Vol. 81, pp. 828-845.

DE SERPA A.J. (1973) Microeconomic theory and the valuation of travel time: Some clarifications. **Regional Science and Urban Economics**, Vol. 2, pp. 401-410.

EVANS A. (1972) On the theory and the valuation and allocation of time. **Scottish Journal of Political Economy**, 19, pp. 1-17.

HAMMADOU H. (2001) **Modélisation du choix modal voyageurs sur les déplacements de longue distance : la valeur du temps**. Thèse de doctorat, Université de Lille 1.

HENSHER D. (1995) **Value of travel time savings in personal and commercial automobile travel**. Institute of Transport Studies, ITS-WP95-4.

JARA-DIAZ S. (1994) A general micro-model of user's behavior : the basic issues. Preprints of **the Seventh International Conference on Travel Behaviour Research**, Valle Nevado, Santiago, Chile, 13-16 June.

- O'DEA (1994) The value of time saving to an individual. **International Journal of Transport Economics**, 21(3).
- OORT C. (1969) The evaluation of travelling time. **Journal of Transport Economics and Policy**, 3, pp. 279-286.
- SMALL K. (1982) Scheduling on consumer activities: work trips. **American Economic Review**, 72, pp. 467-479.
- TRAIN K., MCFADDEN D. (1978) The goods leisure trade-off and disaggregate work trip mode choice models. **Transportation Research**, 12, pp. 349-353.
- TRUONG T.P., HENSHER D.A. (1985a) Measurement of travel time values and opportunity cost from discrete-choice model. **The Economic Journal**, Vol. 95, pp. 438-451.
- TRUONG T.P., HENSHER D.A. (1985b) Valuation of travel time saving: A direct experimental approach. **Journal of Transport Economics and Policy**, Vol. 19, pp. 237-261.

**ANNEXE 1 : ÉVALUATIONS DE LA VALEUR DU TEMPS FOURNIES PAR LE
RAPPORT BOITEUX (FRANCS PAR HEURE ET PAR VOYAGEUR)**

Grandeur	VdT Moyenne (> 80 km)		VdT Moyenne (dist. variab.)		VdT « IDRAC »		VdT SETRA		VdT SNCF
	1990	1998	1996	1998	1994	1998	1994	1998	1998
Outil d'application	MATISSE		MATISSE		Multiples		ARIANE		Gravitaire SNCF
Champ d'application	Modèle trafic		Modèle trafic		Évaluation économique		Trafic + Évaluation		Trafic + Évaluation
Année d'établis.	1988		1997		1995		1995		1998
Valeur (année)	1990	1998	1996	1998	1994	1998	1994	1998	1998
Voiture particulière	71	82	81	82	41	43	41	43	-
Train	-	-	94	96	-	-	-	-	-
Train 2 ^e classe	63	73	-	-	64	68	-	-	71
Train 1 ^{re} classe	188	218	-	-	163	172	-	-	180
Avion/train	230	266	-	-	289	305	-	-	n.d.
Avion	310	359	256	261	-	-	-	-	-
Autres paramètres que le temps dans les avantages des usagers	Environ 50 %		Environ 50 %		n.d.		Environ 30 %		Environ 20 %
Source	CGP BOITEUX		INRETS		« IDRAC »		SETRA		SNCF

ANNEXE 2 : CARACTÉRISTIQUES DÉMOGRAPHIQUES DE L'ÉCHANTILLON

	Echantillon de l'enquête transport		Enquête transport complète	
	Effectifs	Fréquences	Effectifs	Fréquences
Sexe				
<i>Masculin</i>	1268	54%	6958	49%
<i>Féminin</i>	1059	46%	7249	51%
Age				
<i>- de 19 ans</i>	234	10%	1689	12%
<i>20-39 ans</i>	920	40%	4541	32%
<i>40-59 ans</i>	783	34%	4253	30%
<i>60-74 ans</i>	326	14%	2665	19%
<i>+ de 75 ans</i>	62	3%	1036	7%
<i>non déclaré</i>	2	0%	23	0%
PCS				
<i>Agriculteurs</i>	44	2%	746	6%
<i>Artisans, commerçants, chefs d'entr.</i>	134	6%	1003	8%
<i>Cadres et professions supérieurs</i>	514	23%	1512	12%
<i>Professions intermédiaires</i>	534	24%	2305	18%
<i>Employés</i>	482	22%	3244	25%
<i>Ouvriers qualifiés</i>	182	8%	1793	14%
<i>Ouvriers non qualifiés</i>	61	3%	1161	9%
<i>non déclaré</i>	240	11%	1372	10%
<i>Données manquantes</i>	136		1071	
Taille du ménage				
<i>1 personne</i>	444	19%	2967	21%
<i>2 personnes</i>	726	31%	4438	31%
<i>3 personnes</i>	476	20%	2768	19%
<i>4 personnes</i>	450	19%	2541	18%
<i>+ de 5 personnes</i>	231	10%	1493	11%
Nombre de véhicules				
<i>aucun véhicule</i>	231	10%	2649	19%
<i>1 véhicule</i>	1075	46%	6585	46%
<i>2 véhicules</i>	871	37%	4305	30%
<i>3 véhicules</i>	150	6%	668	5%

ANNEXE 4 : RÉSULTATS D'ESTIMATION DES MODÈLES COMPLETS

Modèle avec effet « revenu et durée de trajet »	Voiture		Train		Avion	
	Coef	<i>t</i>	Coef	<i>t</i>	Coef	<i>t</i>
Caractéristiques de l'offre de transport						
Coût de transport	-0,008	-18,06	-0,004	-6,95	-0,002	-7,25
Temps*revenu <13	-0,006	-5,33	-0,006	-6,00	-0,012	-6,22
Temps*revenu 13-20	-0,010	-8,32	-0,010	-10,54	-0,021	-10,00
Temps*revenu >20	-0,012	-11,42	-0,011	-12,58	-0,022	-11,71
Temps de transport au carré	1,1E-05	5,89	4,3E-07	0,35	3,6E-05	7,16
Caractéristiques de l'individu						
Age	0,020	7,66	0,021	7,95		
Homme	-0,006	-0,06	0,084	1,00		
PCS (Réf. Employé, agriculture)						
Cadre supérieur	-0,040	-0,37	-0,372	-3,63		
Profession intermédiaire	0,357	3,26	0,234	2,18		
Ouvrier	1,307	6,56	0,477	2,38		
Nombre de voitures	0,106	1,85	-0,320	-5,66		
Distance parcourue en voiture	8,0E-06	2,63	-3,7E-05	-11,07		
Caractéristiques du déplacement						
Taille du groupe (réf. + de deux pers)						
Une personne	-1,718	-13,28	0,731	5,20		
Deux personnes	-0,978	-7,73	0,589	4,17		
Motif du déplacement (réf. Visite)						
Professionnel	-1,310	-10,94	-0,831	-7,40		
Vacances	0,966	7,90	-0,068	-0,59		
Loisirs	0,548	3,72	-0,179	-1,24		
Durée du séjour (réf. Plus de trois jours)						
Une journée	-0,354	-2,39	-0,883	-5,91		
Deux jours	-0,252	-1,98	-0,648	-5,09		
Trois jours	-0,500	-4,27	-0,565	-5,04		
Constante	2,842	8,11	0,268	0,76		
Valeur inclusive	1,779	10,19				
Nombre d'observations			7607			
Log Vraisemblance à zéro			-8357			
Log Vraisemblance de Bêta			-3708			

Modèle de Causse	Voiture		Train		Avion	
	Coef	<i>t</i>	Coef	<i>t</i>	Coef	<i>t</i>
Caractéristiques de l'offre de transport						
Coût de transport	-0,005	-10,85	-0,004	-6,99	-0,001	-4,06
Temps de transport	-0,021	-11,43	-0,010	-7,97	-0,031	-4,61
Temps de transport au carré	2,8E-05	10,58	6,5E-06	3,94	7,8E-05	4,39
Interaction coût-revenu	1,9E-09	6,70	1,9E-09	6,70	1,9E-09	6,70
Interaction temps-revenu	-1,6E-08	-5,94	-1,6E-08	-5,94	-1,6E-08	-5,94
Caractéristiques de l'individu						
Age	0,017	6,56	0,018	6,81		
Homme	-0,016	-0,20	0,109	1,31		
PCS (Réf. Employé, agriculture)						
Cadre supérieur	-0,098	-0,96	-0,452	-4,50		
Profession intermédiaire	0,303	2,90	0,182	1,77		
Ouvrier	1,399	6,90	0,567	2,78		
Nombre de voitures	0,054	0,93	-0,336	-6,12		
distance parcourue en voiture	1,1E-05	3,57	-3,6E-05	-10,64		
Caractéristiques du déplacement						
Taille du groupe (réf. + de deux pers)						
Une personne	-1,522	-12,81	0,889	6,64		
Deux personnes	-0,809	-6,94	0,727	5,42		
Motif du déplacement (réf. Visite)						
Professionnel	-1,378	-11,07	-0,856	-7,46		
Vacances	0,912	8,02	-0,090	-0,82		
Loisirs	0,565	3,99	-0,171	-1,21		
Durée du séjour (réf. Plus de trois jours)						
Une journée	-0,503	-3,25	-0,972	-6,26		
Deux jours	-0,320	-2,40	-0,676	-5,15		
Trois jours	-0,543	-4,56	-0,593	-5,30		
Constante	3,321	4,97	0,113	0,17		
Nombre d'observations			7607			
Log Vraisemblance à zéro			-8357			
Log Vraisemblance de Bêta			-3681			