



HAL
open science

La valeur du temps en transport de marchandises

Jérôme Massiani

► **To cite this version:**

Jérôme Massiani. La valeur du temps en transport de marchandises. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est, 2005. Français. NNT : 2011PA123007 . tel-00710376

HAL Id: tel-00710376

<https://theses.hal.science/tel-00710376>

Submitted on 20 Jun 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Paris XII - Val de Marne
Institut d'Urbanisme de Paris
Ecole Doctorale EGEE

Doctorat
Economie appliquée
Jérôme Massiani

La valeur du temps en transport de marchandises

Directeur de la recherche : Rémy Prud'homme

Soutenance du : 17 novembre 2005

Membres du Jury : Yves Crozet (Président), Professeur à l'Université Lyon II ;
Gerard de Jong, Professeur à l'Université de Leeds ;
Pierre Kopp (Rapporteur), Professeur à l'Université Paris I ;
Jean-Pierre Orfeuil, Professeur à l'Université Paris XII ;
Gilles Paché (Rapporteur), Professeur à l'Université de Montpellier I ;
Rémy Prud'homme (Directeur de thèse), Professeur (émérite) à l'Université
Paris XII.

numéro national :

"Ce qui est simple est faux, ce qui est compliqué est inutilisable."

Paul Valéry.

Remerciements

Ce travail n'aurait pas été ce qu'il est sans l'aide que certains m'ont apportée.

Mes remerciements vont d'abord à mon directeur de thèse Rémy Prud'homme. Sa disponibilité et son attention m'invitent à le conseiller à tous les candidats doctorants. Je remercie également les membres de mon jury et, en particulier, les deux rapporteurs pour le temps et l'attention qu'ils auront consacrés à la lecture de cette thèse.

Ils vont ensuite à tous ceux de la communauté scientifique qui ont consacré un peu de leur temps à lire ou à discuter des versions souvent trop préliminaires de mes travaux. Isabelle Maleyre, Claude Matthieu, Pierre Blanchard, de l'Université Paris XII Val de Marne ont ainsi pu m'éclairer par leurs conseils sur un sujet pourtant éloigné de leur domaine de recherche.

Mes remerciements vont aussi à ceux qui m'ont accueilli à l'Université de Trieste durant les mois où je terminais ce travail et notamment à Romeo Danielis, pour sa disponibilité à organiser mon séjour scientifique dans son département et pour sa combativité à faire converger les algorithmes de Limdep. S'y ajoutent Lucia Rotaris, Tullio Gregori, Gabriella Benedetti et Jacopo Zotti. Leur disponibilité, et les discussions que nous avons eues lors de ce trop court séjour, ont été pour beaucoup dans le contenu final de ce travail. Ils ont contribué de manière majeure aux meilleurs pages de ce travail. Les moins bonnes restent par contre de mon unique responsabilité.

Ne doivent pas ici être oubliés ceux qui ont su accueillir favorablement ma recherche et par des conseils ponctuels ou une écoute ont probablement permis à ce travail de s'achever. Patrick Salini, Marcus Wigan, Markus Friedriech, Christian Calzada, Cinzia Cirillo, Alan McKinnon, Tony Fowkes, Jacques Lesourne. J'ajoute à cette liste Michèle Guilbault, Christophe Rizet de l'INRETS et Michel Houée du Ministère de l'Équipement, qui m'ont permis d'utiliser des données de l'enquête chargeurs Nord Pas de Calais. J'adresse également des remerciements particuliers à Michel Savy, Gerard de Jong, Lionel Clément, et Eric Kroes.

Je me dois également de citer ici mes employeurs au sein de Hague Consulting Group puis d'ISIS. Leur bienveillance par rapport à mes travaux de recherche ne ressemble pas à la description habituelle que l'on fait des rapports entre salariés et employeurs. Cette bienveillance a peut-être dépassé ce que nos discussions initiales laissaient imaginer, mais, je crois, sans que jamais aucune des parties n'ait eu à regretter les conséquences de l'asymétrie informationnelle qui prévalait lorsqu'ils m'ont accordé leur confiance. Soient donc remerciés particulièrement Hugh Gunn, Benoît Juster et Christian Allibe.

Mes remerciements vont également à ceux que j'ai croisés à l'Institut d'Urbanisme de Paris, tout en regrettant que mes obligations m'aient empêché de vivre plus pleinement la vie d'un laboratoire de recherche et que certains dans le monde universitaire aient du mal à accepter qu'un travail de recherche se réalise en parallèle à une activité professionnelle. Mes pensées vont aujourd'hui à tous ceux qui de manière amicale m'ont aidé dans ma démarche : Jean-Marc, Emre, Sandrine, Cécile, et Patricia. Je remercie aussi Bernard-Henri pour les nombreuses fois où il m'a aidé.

Mes remerciements vont également à certains de mes amis qui ont réussi à ne pas se désintéresser de ce travail. François et Arnaud m'ont éclairé par leur finesse de raisonnement et leur esprit mathématique. Merci à Vincent pour les nombreuses fois où il a discuté de ce travail avec moi. Il a plusieurs fois repoussé mes propositions de finir ce travail à ma place, et nous ne saurons probablement jamais ce qu'il en serait alors advenu, mais ma conviction est que la recherche y aurait sûrement gagné une contribution de valeur. Enfin l'aide de certains m'a été précieuse lors de la finalisation de ce travail : Antoine, Valérie, Cécile, Robert, Claire, Mayève, Pierre, Laëtitia.

Ma gratitude va également à ceux qui m'ont si souvent accueilli et ont aussi su susciter mes réflexions : le Sottovento à Pavie, Knulp, à Trieste, ont également indirectement contribué à ce travail.

Mes pensées vont aussi à ma famille. A mon père qui nous a quitté lorsque ce travail commençait. Un grand honneur serait pour moi que ceux qui l'ont connu et qui liront ce travail, y retrouvent certaines de ses qualités.

Mes pensées vont enfin à Angela pour sa patience et sa générosité durant ces trop longues années et à Martial qui nous accompagne maintenant depuis 10 mois.

Sommaire¹

Introduction	23
Chapitre 1 : Pertinence et définition de la valeur du temps en transport de marchandises	33
Partie I : L'état de l'art et l'état de la pratique	75
Chapitre 2 : L'approche par les coûts, de l'analyse à l'évaluation.....	77
Chapitre 3 : Valorisation des gains de temps en transport de marchandises, méthodes et résultats	111
Chapitre 4 : Compléments sur la mesure de la valeur du temps.....	159
Partie II : Contribution à une théorie sur l'utilisation du temps dans la production et le transport	191
Chapitre 5 : Le rôle des durées pour les transporteurs, les producteurs et les consommateurs.....	197
Chapitre 6 : Les effets d'un gain de temps.....	243
Partie III : Mesures de la valeur du temps.....	275
Chapitre 7 : Peut-on mesurer la valeur du temps par la technique des prix hédoniques ?	279
Chapitre 8 : Une mesure de l'hétérogénéité des valeurs du temps des chargeurs sur la base de Préférences Déclarées	303
Conclusion générale	331

¹ Une table des matières détaillée est présentée p. 343

Liste des figures

Figure 1 : les différentes relations entre les agents économiques et les durées de transport	41
Figure 2 : la structure du capital : représentation du temps de la production pour l'école Autrichienne	44
Figure 3 : différentes notions pour décrire la fiabilité en transport de marchandises.....	47
Figure 4 : différents aspects de la valeur du temps	49
Figure 5 : les différentes durées dans la prestation de transport (un exemple)	52
Figure 6 : trois dimensions de la valeur du temps	57
Figure 7 : durée journalière d'ouverture pour les centres de distributions de biens de consommation courante (axe horizontal : nombre d'heures ; axe vertical : effectif)	65
Figure 8 : pourcentage des terminaux intermodaux ouverts à un horaire donné.....	65
Figure 9 : les coûts de la vitesse en transport ferroviaire	88
Figure 10 : coût kilométrique en fonction de la vitesse pour trois catégories de véhicules (pence)	91
Figure 11 : coûts kilométriques de fonctionnement des véhicules en fonction des durées de déplacement (pour un déplacement de 100 km)	92
Figure 12 : coût total de déplacement (personnel de conduite + coût d'utilisation des véhicules) en fonction de la durée de déplacement	93
Figure 13 : évolution de la valeur du temps marchandises depuis 1970 (FF. courants et euro constants).....	101
Figure 14 : valeur du temps estimée au coût des facteurs et PIB par habitant (PPA) pour différents pays européens.....	105
Figure 15 : l'objet du choix dans les méthodes de choix discret	124
Figure 16 : différentes modalités d'expression des préférences.....	162
Figure 17 : structure d'un modèle de choix hiérarchique pour la combinaison de données de RP et de SP	173
Figure 18 : coût total de déplacement (personnel de conduite + coût d'utilisation des véhicules) en fonction de la durée de déplacement	203
Figure 19 : coût des opérations hors déplacement en fonction des durées : trois types de relation	204
Figure 20 : coût total des opérations sans déplacement en fonction de la durée totale sans déplacement : deux situations typiques	211
Figure 21 : coût de production du transport en fonction des durées de transport (avec opération obligatoire -tractionnaire contraint).....	213
Figure 22 : coût de production du transport en fonction des durées de transport (sans opération obligatoire - tractionnaire sans contrainte).....	214
Figure 23 : coût de production du transport en fonction des durées de déplacement et des durées de transport (optimisation par un opérateur logistique)	215
Figure 24 : coût de production du transport en fonction des durées de déplacement et des durées de transport (optimisation par un opérateur logistique contraint)	216
Figure 25 : diversité des fonctions de coût entre modes et entre transporteurs (modes i,j,k).....	221
Figure 26 : deux manières différentes de modifier la durée de production	225
Figure 27 : coût de production unitaire à long terme et à court terme en fonction des durées (allure de la courbe).....	229
Figure 28 : choix de la date de disponibilité du bien : contrainte budgétaire linéaire et fonction d'utilité linéaire.....	236
Figure 29 : optimisation par le consommateur (utilité linéaire, prix non linéaire).....	237
Figure 30 : optimisation par le consommateur (utilité non linéaire, prix non linéaire).....	239
Figure 34 : représentation des différentes durées et des fonctions de coût et de recettes.....	248
Figure 35 : maximisation du profit par le producteur.....	249
Figure 36 : représentation hédonique de l'équilibre sur le marché.....	251
Figure 37 : choix d'une durée hors déplacement optimale	255

Figure 38 : égalisation des coûts du transporteur et de ses revenus	258
Figure 39 : transactions sur le marché des transports pour plusieurs types d'entreprises et de transporteurs	258
Figure 40 : translation de la courbe de coût de transport en cas de baisse de d_{\min} (situation d'un "tractionnaire contraint")	260
Figure 41 : effets d'une réduction de d_{\min} (effets à court terme sans modification du prix du bien)	263
Figure 42 : trois sources de valorisation des gains de temps (type tractionnaire)	272
Figure 43 : courbes d'acceptation, courbes d'enchères et transactions	281
Figure 44 : représentation hédonique de l'équilibre sur le marché	284
Figure 45 : densité de la distribution des valeurs du temps estimée par un kernel	327
Figure 46 : surplus marshallien pour une modification de l'offre et de la demande de transport.....	337

Liste des tableaux

Tableau 1 : part des gains des temps dans les bénéfices des projets de transports, quelques exemples britanniques	26
Tableau 2 : effet de la valeur du temps sur les prévisions de trafic, modèle à 5 étapes.	27
Tableau 3 : comparaison du rôle des durées de transport : déplacements personnels et déplacements des facteurs de production	40
Tableau 4 : durée de déplacement et durées de transports : une étude de cas pour un envoi par messagerie entre Paris et Lyon.....	50
Tableau 5 : données de synthèse sur un envoi transporté par messagerie entre Paris et Lyon.....	51
Tableau 6 : gains de temps permis par des projets d'infrastructures, illustration sur 20 projets britanniques	53
Tableau 7 : attente au déchargement pour les hypermarchés	64
Tableau 8 : valeur implicite des différentes dimensions temporelles de l'envoi de marchandise (francs suisses)	67
Tableau 9 : valeur du temps par catégorie de biens.....	71
Tableau 10 : principales définitions de l'objet valeur du temps	73
Tableau 11 : incidence sur les coûts des différentes fonctions de distribution.....	80
Tableau 12 : les effets des durées de transport sur les coûts des chargeurs	80
Tableau 13 : valeur du temps des occupants et nombre de personnes par type de véhicule (pence/heure)	90
Tableau 14 : coefficients des coûts kilométriques de fonctionnement des véhicules.....	91
Tableau 15 : différentes catégories du coût de déplacement des transporteurs.....	96
Tableau 16 : valorisation des gains de temps pour le transport de marchandises dans différents pays européens.....	104
Tableau 17 : valeur du temps par type de véhicule (dollars 1990 par véh.heure)	105
Tableau 20 : principales méthodes disponibles pour valoriser les diminutions des durées de déplacement	112
Tableau 21 : sensibilité de la valeur du temps selon la forme fonctionnelle retenue en FF. 97.....	120
Tableau 22 : différence entre les valeurs du temps intramodales ou intermodales	127
Tableau 23 : effectifs théoriques et réels de l'enquête valeur du temps au Royaume-Uni	134
Tableau 24 : niveau des attributs proposés pour l'enquête vdt au Royaume-Uni.....	135
Tableau 25 : les différents biais auxquels sont exposées les méthodes de Préférences Déclarées.....	140
Tableau 26 : méthodes de validations des SP.....	143
Tableau 27 : estimations de la valeur du temps.....	152
Tableau 28 : exemple de facteur d'échelle estimé entre les données de SP et de RP	174
Tableau 29 : utilisation séparée et conjointe des données de SP et de RP (intramodal routier).....	174
Tableau 30 : distribution de la valeur du temps, applications au transport de marchandises.....	183
Tableau 31 : comparaison d'indices de substitution entre la durée de transport et le coût de transport selon les secteurs et selon la directionnalité du flux	185
Tableau 32 : différents contextes productifs pour les transporteurs, une typologie	208
Tableau 33 : présentation de la configuration productive retenue pour l'étude du transporteur.....	209
Tableau 34 : typologie des transporteurs et coût marginal temporel.....	217
Tableau 35 : différentes configurations productives amènent à différents types de coûts liés au temps ..	230
Tableau 37 : différentes configurations productives amènent à différents types de coûts liés au temps ..	244
Tableau 38 : effets d'une diminution de la durée minimale sur la courbe de coût des transporteurs : typologie.....	261
Tableau 39 : gains de temps de déplacement et gain de temps de transport : quatre situations types.....	267
Tableau 40 : modèles additifs et multiplicatifs (sans points aberrants).....	289
Tableau 41 : modèles additifs et multiplicatifs sur les envois à plus de 500 km.....	289

Tableau 42 : données descriptives sur les envois	291
Tableau 43 : formes fonctionnelles obtenues de la "forme fonctionnelle flexible" proposée par Halvoorsen et Pollakowski [1981].....	293
Tableau 44 : effet des transformations non linéaires sur les coefficients d'une fonction hédonique, exemple de l'application aux nuisances sonores.....	294
Tableau 45 : estimation de l'équation de prix hédonique (sélection pas à pas par élimination, y.c. transport ferroviaire, variable expliquée est le prix en FF 98)	297
Tableau 46 : équations de prix hédonique et de prix marginal de la durée de transport	298
Tableau 47 : prix marginaux de la durée de transport pour différentes spécifications (euro/h envoi)	298
Tableau 48 : exemple de choix proposés aux chargeurs interviewés	316
Tableau 49 : niveau des attributs présentés aux personnes interviewées	316
Tableau 50 : caractéristiques principales des entreprises interviewées et de leurs envois	317
Tableau 51 : estimation du modèle sur l'ensemble de la population	318
Tableau 52 : estimation par segment de données	319
Tableau 53 : estimation du modèle pour différents secteurs	320
Tableau 54 : valeur du temps pour différents segments (euro par heure et par envoi).....	320
Tableau 55 : modèle avec termes d'interaction	321
Tableau 56 : résultats des estimations RPL.....	323
Tableau 57 : que mesure le consentement à payer des consommateurs, des chargeurs et des transporteurs ?	332

Liste des abréviations

A.C.A.	Analyse Coûts-Avantages
AIPCR (PIARC)	Association Mondiale de la route (sic)
A.I.C.	Akaike Information Criteria (critère d'information d'Akaike)
A.S.C.	Alternative Specific Constant (constante spécifique à l'alternative)
A.S.T.	Appraisal Summary Table (tableau de synthèse d'évaluation)
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (association américaine des responsables des états pour les routes et les autoroutes)
ACTRA	Advisory Committee on Trunk Road Assessment (R-U) (Conseil pour l'évaluation des routes nationales)
BFGS	Broyden-Fletcher-Goldfarb et Shanno (algorithme de)
BHHH	Berndt-Hall-Hall et Hausman (algorithme de) (sic)
B.E.I.	Banque Européenne d'Investissement
B.I.C.	Bayesian Information Criteria (critère d'information bayésien)
B.T.C.E.	Cité par BTRE [1999] qui ne fournit pas le développé du sigle
B.T.P.	Bâtiment et Travaux Publics (secteur des)
B.T.R.E.	Bureau of Transport and Regional Economics (Australie) (bureau d'économie régionale et des transports)
C.A.F.	Coût Assurance Fret
C.E.M.T.	Conférence Européenne des Ministres des Transports
C.N.R.	Conseil National de la Route
C.N.T.	Conseil National des Transports
C.S.P.	Contextual Stated Preferences
C.T.C.S.	Changes in Transport Consumer Surplus (Modification du surplus des consommateurs des transports)
CERTU	Centre d'Etude sur les Réseaux de Transport et l'Urbanisme
CMXL	Continuous Mixed Logit (Logit Mixte continue)
COBA	COst Benefit Analysis (analyse coûts-avantages)
E.B.A.	Elimination By Aspect (élimination par aspect)
E.C.	Error Components
EDI	Echange de Données Informatisé
E.M.	Expectation Maximisation
E.N.P.C.	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
ExACTT	Examen et Analyse de la Compétitivité dans les Transports Terrestres
F.H.W.A.	Federal HighWay Administration (Administration fédérale des autoroutes)
F.L.C.	Freight Leader Club
F.N.T.R.	Fédération Nationale des Transporteurs Routiers
F.O.B.	Free On Board
F.T.L.	Full Truck Load
H.C.G.	Hague Consulting Group
H.E.N.	Highway Economic Note (Note de Synthèse sur l'économie des autoroutes)
H.G.V.	Heavy Goods Vehicles
HEV	Heteroskedastic Extreme Value
i.e.	id est
I.I.A.	Independence of Irrelevant Alternative (indépendance des alternatives non

	pertinentes)
I.I.D.	Indépendamment et Identiquement Distribué
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et la Sécurité
k€	milliers d'euros
kg.	kilogramme
km.	kilomètre
L.G.V.	Light Goods vehicles
LASP	Leeds Adaptive Stated Preferences (Préférences déclarées adaptatives de Leeds)
LCL	Latent Class Logit (Logit à classes latentes)
LCMXL	Latent Class Mixed Logit (Logit à classes latentes mixtes)
LL	Log Likelihood (log vraisemblance)
LTL	Less Than truck Load (chargement partiel)
M.C.O.	Moindres Carrés Ordinaires
M.I.T.	Massachusetts Institute of Technology
M.V.A.	Martin and Voorhees Associates
MMNL	Mixed Multinomial Logit (Logit multinomial mixte)
MNMXL	Mixture Normal Mixed Logit (Logit mixte avec distribution normale)
MPMXL	Mass Point Mixed Logit (modèle logit mixte à distribution discrète des coefficients)
MXL	Mixed Logit (Logit mixte)
n.d.	Non Disponible
N.T.I.C.	Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
NLG	Nederlands Guilders (Florins néerlandais)
O.D.	Origine-Destination
O.G.V	Other Goods Vehicle (utilisé par certains pour "Ordinary Goods Vehicles")
p.	pence
P.I.B.	Produit Intérieur Brut
P.L.	Poids Lourds
P.M.E.	Petites et Moyennes Entreprises
P.M.V.	Panneaux à Messages Variables
P.P.A.	Parité de Pouvoir d'Achat
P.T.	Public Transport (transport public)
P.T.R.C.	Planning and Transport Research and Computation
p/min	pence par minute
PREDIT	Programme national de REcherche et D'Innovation dans les Transports Terrestres
resp.	respectivement
R.P.	Revealed Preferences (Préférences Révélées)
R.P.L.	Random Parameters Logit (Logit à paramètres stochastiques)
R.U.M.	Random Utility Maximisation (maximisation de l'utilité stochastique)
s.c.	sous contrainte
S.E.	Socio Economics (variables socio-économiques, en général utilisé pour les variables caractéristiques des individus qui apparaissent dans la fonction d'utilité d'un modèle de choix discret)
S.E.T.R.A.	Service d'Etude Technique des Routes et des Autoroutes
S.N.C.F.	Société Nationale des Chemins de Fer
S.P.	Stated Preferences (Préférences Déclarées)
ssi	si et seulement si

SACTRA	Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment (Conseil permanent pour l'évaluation des routes nationales)
SERNAM	Service National de Messagerie
t.	tonne
T.E.N.	Transport Economic Note (Synthèse sur l'économie des transports)
t.km.	tonne.km
T.M.S.	Taux Marginal de Substitution
T.P.	Transfer Price
T.R.B.	Transportation Research Board (association professionnelle pour la recherche dans les transports)
T.T.S.	Travel Time Savings (réduction des durées de déplacement)
U-K.	United Kingdom (Royaume-Uni)
V.L.	Véhicules Légers.
V.O.C.	Vehicle Operating Costs (Coûts de fonctionnement des véhicules)
V.O.T.	Value Of Time
V.T.T.S	Value of Travel Times Savings (valeur des réductions de durées de déplacement)
véh.	véhicule
véh.h	véhicule.heure.
y.c.	y compris

Liste des notations

Les notations sont tout d'abord présentées dans une liste **thématique** puis dans une liste **alphabétique**.

Remarques :

- Seules les notations utilisées de manière récurrente sont présentées dans cette liste.
- Notamment, lorsque les notations utilisées dans le texte sont celles d'un autre auteur, elles ne sont pas reprises dans cette liste.

Notations classées par thèmes :

Notations utilisées pour le modèle RUM

i	alternative
n	individu
j	attributs
k	caractéristique de l'individu
U	fonction d'utilité stochastique
V	partie systématique de la fonction d'utilité stochastique
ε	partie aléatoire de la fonction d'utilité stochastique
v	partie aléatoire de la fonction d'utilité stochastique (en cas de mélange de différents types de données, s'applique en général aux données de Préférences Déclarées)
μ	rapport entre la variance des termes stochastiques de deux ensembles de donnée

Durées et dates :

i_j	durée de l'opération hors déplacement j
j	indice d'une opération hors déplacement
(i)	vecteur des durées des opérations hors déplacement i_j
i	durée de l'ensemble des opérations hors déplacement
d	durée de déplacement
d_{\min}	durée minimale de déplacement sur une relation
d_0	durée de déplacement qui minimise les coûts de déplacement
t_0	moment où les intrants sont disponibles pour commencer le processus de production de l'entreprise
t_d	moment du départ : moment où le bien quitte l'entreprise qui l'a produit
t_a	moment de l'arrivée : moment où le bien parvient à destination
t	durée de transport également utilisé comme indice d'un bien x_t : représente le bien x à l'instant t
$\Psi = t_d - t_0$	durée consacrée à la production

Coût et recettes du transporteur :

$cd()$	fonction de coût de déplacement (du transporteur)
$chd()$	fonction de coût hors déplacement (du transporteur)
$cpt(t)$	coût de production du transport pour un envoi
$rt()$	fonction de revenu du transporteur
L	nombre total de tronçons utilisés lors d'un déplacement
ℓ	numéro du tronçon utilisé lors d'un déplacement
λ_{trac}	multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de durée de déplacement dans la maximisation du profit d'un <i>tractionnaire</i>
λ_{oper}	multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de durée de déplacement dans la maximisation du profit d'un <i>opérateur logistique</i>
cap_t	consentement à payer du transporteur pour une réduction marginale des durées de déplacement
cap_{trac}	consentement à payer du <i>tractionnaire</i> pour une <i>réduction marginale</i> des durées de déplacement
cap_{oper}	consentement à payer de <i>l'opérateur logistique</i> pour une <i>réduction marginale</i> des durées de déplacement
m	multiplicateur de gain de temps (gains de temps de transport/gains de temps de déplacement)
m_{trac}	multiplicateur de gain de temps pour les transporteurs de type <i>tractionnaire</i>
π_t	profit unitaire du transporteur

Coût et recettes du producteur (chargeur) :

$ci()$	fonction de coût d'immobilisation des chargeurs (coût du temps de transport pour les chargeurs) comprend la dépréciation des marchandises, les coûts d'organisation logistiques sensibles au temps de transport, les coûts financiers d'immobilisation
$cp()$	fonction de coût de production du producteur en fonction des durées de production
$cgte()$	fonction de coût généralisé de transport des extrants (coût pour le chargeur constitué de la somme du tarif des transporteurs et du coût d'immobilisation)
$cti()$	fonction de coûts de transport des intrants
$ct()$	coût de transport (facturé par le transporteur) remarque : peut aussi être égal à $rt()$ et $cpt()$ (ch. 6 et suivants)
cap_e	consentement à payer du chargeur pour une réduction marginale des durées de transport
$p(t_a)$	prix auquel le bien est en vendu en fonction de sa date de disponibilité
$\pi_e()$	profit du producteur

Préférences des consommateurs

$U()$	fonction d'utilité (ordinaire) représentant les préférences des consommateurs
$\Phi()$	fonction d'actualisation des utilités futures
$\theta()$	fonction d'enchère
Y	revenu du consommateur
λ	utilité marginale de la monnaie
τ	prix marginal du temps (sous l'hypothèse de prix marginal constant)

Mesures des modifications de bien-être collective :

FOP	Fonction-objectif du décideur publique
W	fonction de bien-être collectif (peut différer de FOP, si le décideur public ne poursuit pas une politique de maximisation d'une fonction de bien-être collectif)
CS	Surplus du consommateur
VC	Variation compensatoire
VE	Variation équivalente

Notations classées par ordre alphabétiques (lettres grecques placées en fin de liste)

cap_e	consentement à payer du chargeur pour une réduction marginale des durées de transport
cap_{oper}	consentement à payer de <i>l'opérateur logistique</i> pour une <i>réduction marginale</i> des durées de déplacement
cap_t	consentement à payer du transporteur pour une réduction marginale des durées de déplacement
cap_{trac}	consentement à payer du <i>tractionnaire</i> pour une <i>réduction marginale</i> des durées de déplacement
$cd()$	fonction de coût de déplacement (du transporteur)
$cgte()$	fonction de coût généralisé de transport des extrants (coût pour le chargeur constitué de la somme du tarif des transporteurs et du coût d'immobilisation)
$chd()$	fonction de coût hors déplacement (du transporteur)
$ci()$	fonction de coût d'immobilisation des chargeurs (coût du temps de transport pour les chargeurs) comprend la dépréciation des marchandises, les coûts d'organisation logistiques sensibles au temps de transport, les coûts financiers d'immobilisation
$cp()$	fonction de coût de production du producteur en fonction des durées de production
$cpt(t)$	coût de production du transport pour un envoi
CS	Surplus du consommateur
$ct()$	coût de transport (facturé par le transporteur) remarque : peut aussi être égal à $rt()$ et $cpt()$ (ch. 6 et suivants)
$cti()$	fonction de coûts de transport des intrants
d	durée de déplacement
d_0	durée de déplacement qui minimise les coûts de déplacement
d_{min}	durée minimale de déplacement sur une relation
FOP	Fonction-objectif du décideur publique
i	alternative (modèle RUM)
i	durée de l'ensemble des opérations hors déplacement
i_j	durée de l'opération hors déplacement j
(i)	vecteur des durées des opérations hors déplacement i_j
j	indice d'une opération hors déplacement
j	attributs (modèle RUM)
k	caractéristique de l'individu
ℓ	numéro du tronçon utilisé lors d'un déplacement
L	nombre total de tronçons utilisés lors d'un déplacement
m	multiplicateur de gain de temps (gains de temps de transport/gains de temps de déplacement)
m_{trac}	multiplicateur de gain de temps pour les transporteurs de type <i>tractionnaire</i>
n	individu
$p(t_a)$	prix auquel le bien est en vendu en fonction de sa date de disponibilité
$rt()$	fonction de revenu du transporteur
t	durée de transport
t_0	moment où les intrants sont disponibles pour commencer le processus de production de l'entreprise
t_a	moment de l'arrivée : moment où le bien parvient à destination
t_d	moment du départ : moment où le bien quitte l'entreprise qui l'a produit
U	fonction d'utilité stochastique (modèle RUM)
$U()$	fonction d'utilité représentant les préférences des consommateurs

V	partie systématique de la fonction d'utilité stochastique
VC	Variation compensatoire
VE	Variation équivalente
W	fonction de bien-être collectif (peut différer de FOP, si le décideur public ne poursuit pas une politique de maximisation d'une fonction de bien-être collectif)
Y	revenu du consommateur
$\Phi()$	fonction d'actualisation des utilités futures
ε	partie aléatoire de la fonction d'utilité stochastique
λ	utilité marginale de la monnaie
λ_{oper}	multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de durée de déplacement dans la maximisation du profit d'un <i>opérateur logistique</i>
λ_{trac}	multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de durée de déplacement dans la maximisation du profit d'un <i>tractionnaire</i>
μ	rapport entre la variance des termes stochastiques de deux ensembles de donnée
v	partie aléatoire de la fonction d'utilité stochastique (en cas de mélange de différents types de données, s'applique en général aux données de Préférences Déclarées)
$\pi_e()$	profit du producteur
π_t	profit unitaire du transporteur
$\theta()$	fonction d'enchère
τ	prix marginal du temps (sous l'hypothèse de prix marginal constant)
$\Psi = t_d - t_0$	durée consacrée à la production

Introduction

Le rapport Boiteux affirmait en 1994 : “*si les valeurs du temps utilisées aujourd’hui rendent assez bien compte des comportements des voyageurs, il n’en est pas de même pour les marchandises. La connaissance des valeurs que les chargeurs² attribuent au temps est peu explorée*” (Commissariat Général au Plan [1994]). Quelques années plus tard, le rapport dit Boiteux 2 (Commissariat Général au Plan [2001]) confirme ce constat et peut encore intituler un de ses paragraphes : “*première approche des valeurs du temps pour les transports de marchandises*”.

Le présent travail tire sa motivation de ce type de constats. Alors que la connaissance de la valeur du temps des voyageurs s’appuie à la fois sur une base théorique solidement établie et sur un nombre important de travaux empiriques, la valeur du temps des marchandises a été beaucoup moins analysée.

1 Des interrogations multiples

Cette méconnaissance est d’autant plus étonnante que les enjeux liés à une bonne compréhension et à une mesure fiable de la valeur du temps en transport de marchandises sont multiples.

Les extraits du rapport Boiteux, que nous avons cités en incipit, suggèrent d’ores et déjà l’importance de cette notion pour l’évaluation de projet. Si le décideur public souhaite comparer deux “états du monde” (par exemple un état “sans projet” et un état “avec projet”) par une méthode d’analyse coûts-avantages, il a besoin d’attribuer un équivalent monétaire aux différences de temps de transport des marchandises.

En second lieu, à un niveau plus stratégique, la valeur du temps permet de situer les gains de temps par rapport à une hiérarchie d’objectifs concurrents de la politique publique. En 1977, Winston notait déjà qu’une des sources essentielles des recherches des économistes en matière de choix modal résidait dans la recherche d’une réponse à la baisse des parts de marché du transport ferroviaire. Plus proche de nous, le *Livre blanc sur les transports* élaboré par la Commission Européenne [2001] fait écho aux interrogations de Winston, et promeut l’objectif de *découplage* entre la croissance économique et l’évolution du transport routier de marchandise. La réalisation de cet objectif repose sur un report modal, de la route vers le rail. Il ne peut être poursuivi qu’en s’appuyant sur une compréhension adéquate des mécanismes de choix modal et sur une connaissance des attentes des chargeurs par rapport aux services de transport qui leur sont proposés.

Une troisième source d’intérêt repose sur l’analyse du temps dans les processus de production. Au-delà du constat sur le développement du juste-à-temps qui est devenu presque un lieu commun et des œuvres grand public qui ont, surtout dans le monde anglo-saxon, popularisé ce thème (Walker [1994], Womack et Jones [1996], Vaessen [1992]), une thématique de recherche s’est développée dans les sciences de gestion, qui étudie de quelle manière le temps peut-être un élément d’amélioration des performances de l’entreprise. Pourtant, malgré cet intérêt un cadre de compréhension formellement cohérent du rôle du temps dans les modes de distribution moderne fait encore défaut. On est tenté de

² Contrairement à ce que l’intuition suggère parfois, le terme chargeur désigne les entreprises qui confient leurs biens à un transporteur.

reprendre ici la remarque formulée par Marc Gaudry : *"il n'y a pas de théorie micro-économique du juste à temps"*³.

D'un point de vue analytique, enfin, un certain nombre de questions n'ont pas reçu de réponse généralement admise, concernant le rôle du temps dans le transport de marchandises. Comment réconcilier, par exemple, la décroissance des coûts de déplacement en fonction des vitesses, généralement supposée par les procédures d'évaluations routières avec le constat – que l'on peut pour l'instant formuler de manière pré analytique– selon lequel les services de transport rapides sont plus chers que les services de transports lents. Une autre question concerne la réutilisation des gains de temps par les transporteurs : si les durées de déplacement sont diminuées, de quelle manière ces gains de temps sont-ils réutilisés par les transporteurs ?

La diversité des thématiques pour lesquelles la notion de valeur du temps peut être invoquée implique en retour que cette notion est polysémique. Le terme "valeur du temps" est en quelque sorte victime de son succès et, comme les pièces de monnaies, qu'évoquait Anatole France⁴, dont les détails disparaissent lorsqu'elles ont été trop utilisées, il est possible que la notion de valeur du temps ait perdu de sa précision du fait des usages multiples et répétés.

Un effort de clarification et de définition est donc légitime. Il viendra en son temps. A ce stade de notre présentation et au risque de donner une image initialement confuse des problématiques liées à la valeur du temps, mais au bénéfice d'en montrer la complexité, on pourrait citer quelques remarques, pour certaines authentiques, pour d'autres imaginaires que la présentation de ce sujet peut provoquer.

Certaines concernent l'utilité de gagner du temps...

- *"A quoi cela sert-il de faire arriver les marchandises à destination plus tôt si c'est pour les stocker ?"*
- *"Cela ne sert à rien au transporteur de gagner du temps sur son trajet s'il ne peut pas réutiliser le temps économisé."*
- *"La notion de valeur du temps fait sourire les transporteurs."*

D'autres prennent le problème à un niveau plus général, du secteur des transporteurs, ...

- *"Les transporteurs n'ont pas d'intérêt à la baisse des durées de transport car leur marché est très compétitif, si les durées et les coûts baissent, cela impliquera une baisse des prix."*

D'autres encore concernent plus directement la prise en compte des gains de temps dans l'évaluation des projets, et opposent clairement deux écoles :

- *"Si l'on ajoutait à la valeur du temps des transporteurs la valeur du temps des chargeurs, on aurait forcément double compte, car les chargeurs paient justement les transporteurs pour aller vite."*
- *"Ajouter la valeur du temps des propriétaires des biens ? alors pourquoi pas celle des destinataires et celle des clients finaux."*
- *"Les procédures actuelles d'évaluation ne valorisent pas correctement les gains de temps parce qu'elles ne prennent pas en compte l'ensemble des effets indirects,"*

ou encore expriment des préoccupations d'économie normative.

- *"Si les gens veulent recevoir leurs marchandises plus vite, ils n'ont qu'à payer pour cela ; l'Etat n'a pas à prendre en compte cela dans ses analyses coûts-avantages."*

Et enfin, la plus fréquente, conforme à la morale du fabuliste :

- *"Gagner du temps ne sert à rien, ce qu'il faut c'est être à l'heure."*

³ Journée d'études Transport : Université de Cergy Pontoise, 13 Mai 2005.

⁴ La comparaison est également attribuée à Mallarmé.

On voit ainsi la multitude des dimensions du problème, et on risquerait fort, en les plaçant toutes à un même niveau, de ne pouvoir en traiter correctement aucune.

2 Notre propos

Nous avons pris un autre parti qui est d'orienter notre questionnement sur une **analyse du rôle du temps dans le transport de marchandises pour déterminer comment l'évaluateur doit prendre en compte les gains de temps dans l'analyse de projets d'infrastructure.**

Le choix de formuler ainsi notre interrogation se justifie par plusieurs raisons.

En premier lieu, cette question, bien comprise, cumule probablement la plupart des difficultés des autres questions. Elle impose une bonne compréhension du rôle des durées dans la production, des conséquences d'un gain de temps pour les transporteurs et pour les chargeurs. En formulant notre interrogation initiale dans les termes proposés, l'objectif devient alors plus ambitieux mais aussi de portée plus générale puisqu'il permet de couvrir un grand nombre de problématiques liées au rôle du temps pour les entreprises.

En second lieu, cette formulation nous amène notamment à nous interroger sur "la valeur du temps des marchandises". Plus précisément, a longtemps prévalu dans les procédures d'évaluation une pratique basée sur les coûts de transport. Dans cette pratique, les effets d'une diminution des durées de transport sont mesurés par l'économie que cette diminution permet en termes de consommation des facteurs. Dit autrement, une heure de transport en moins c'est une heure de chauffeur et une heure de camion économisées pour le transporteur. Or cette pratique tend à être remise en cause puisqu'elle omet la valeur que les propriétaires des marchandises attribuent au fait de raccourcir les durées de transport. La question de la *valeur du temps des chargeurs* a non seulement une pertinence scientifique mais également une acuité par rapport aux pratiques administratives, puisque sera publiée à la fin de cette année une circulaire d'application de l'instruction cadre du 25 mars 2004 qui modifie la prise en compte de la valeur du temps des marchandises dans l'estimation de projet. Cette dernière modification pourrait laisser penser que la question est désormais résolue, et que le présent travail arrive trop tard. Il n'en est pourtant rien. En témoignent, d'une part, les interrogations que le rapport Boiteux, à l'origine lui-même de cette modification des pratiques administratives, émet sur le caractère encore trop méconnu de la valorisation du temps par les agents économiques. En témoignent également les incertitudes exprimées par l'instruction-cadre du 25 mars 2004 qui parle d'un mode de calcul "*proposé à titre expérimental*". En témoignent, enfin, les échanges que nous avons eus avec les économistes au cours de différents séminaires ou conférences. Sur ce point beaucoup disaient qu'ils ne savaient pas. Heureusement, parfois, certains savaient. Malheureusement, ils n'étaient pas d'accord entre eux.

Last but not least, l'étude de la valeur du temps en transport de marchandises est justifiée par l'importance quantitative de la valeur du temps dans les procédures d'évaluation. Ce point nécessite une présentation plus détaillée.

3 L'importance des gains de temps dans l'évaluation de projet

On constate tout d'abord **l'importance des gains de temps tous véhicules confondus**, dans les résultats de l'analyse coûts-avantages. Déjà en 1960, Coburn, Besley et Reynolds [1960]⁵ établissent que les gains de temps des déplacements comptent pour 59 à 78 % des gains annuels nets permis par la construction de l'autoroute M1 Londres-Birmingham. Plus récemment, Willumsen et Ortúzar [1994] notaient que les gains de temps représentent le bénéfice le plus important des projets d'amélioration des

⁵ Cités par Caralp, Costa et Libertalis [1970].

transports. Gwilliam [1997] donne une indication quantitative de cette part : en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas ou en Finlande les gains de temps comptent pour plus de 80 % des bénéfices mesurés d'un projet routier.

Ces éléments doivent être précisés pour prendre en compte la part de ces bénéfices qui sont liés précisément au **transport de marchandises**. Si l'on restreint de la sorte les éléments fournis par la littérature scientifique ou professionnelle sont moins nombreux. On propose alors de quantifier plus précisément ce phénomène en examinant des données extraites des "Appraisal Summary Tables (A.S.T.)" réalisées par le "Department of Environment, Transport and the Regions", pour la valorisation des projets de transport routier en Grande-Bretagne⁶. Le Tableau 1 illustre cette importance en fournissant une estimation du poids des gains de temps des marchandises dans les bénéfices nets actualisés de trois projets routiers.

Tableau 1 : part des gains des temps dans les bénéfices des projets de transports, quelques exemples britanniques⁷

Nom du projet	Part des gains de temps dans la PVB	Part des marchandises dans la valeur des gains de temps	Part de la valeur du temps marchandises dans la PVB ⁸
	%	%	%
Whetherby/Walshford (YH)	84%	33%	28%
A3 Hindhead (Gose)	41%	20%	8%
A5 Nesscliffe	46%	23%	11%
M1 J6A-10 (GOER)	92%	25%	23%
M1 J 31-32 (GO-YH)	100% ⁹	28%	28%

Source : sur la base de DETR [1998]

On mesure ainsi quelle est la place des gains de temps dans l'évaluation des projets. Encore ne s'agit-il ici que de la partie émergée de l'iceberg, ou du dernier maillon de la chaîne, parce que la valeur du temps n'est pas uniquement un multiplicande qui viendrait valoriser "en bout de chaîne" les gains de temps permis par une amélioration des infrastructures, elle est aussi une variable de calcul de ces gains de temps.

La valeur du temps n'est pas seulement un équivalent monétaire des gains de temps permis par un nouvel aménagement. Elle intervient plus en amont dans la détermination de ces gains de temps. On reprendra sur ce point, la distinction des 5 étapes distinguées par Winston [1995].

- *Localisation des activités (Activity location).*
- *Génération (Generation).*
- *Distribution.*

⁶ On souhaitait initialement réaliser un tel traitement sur la base de données françaises. Les réticences que nous avons rencontrées de la part des institutions en charge de ces données nous ont convaincu de préférer les données britanniques.

⁷ Pour pouvoir établir ces résultats, il est nécessaire de faire une hypothèse concernant la répartition du trafic hors *Heavy Goods Vehicles* (Poids Lourds marchandises) entre véhicules particuliers d'une part, et *Light Goods Vehicles* (Véhicules Marchandises Légers) et *Personal Service Vehicles* (transports collectifs de voyageurs) d'autre part. En l'absence de données locales, nous avons supposé que les Véhicules Particuliers représentent 80 % de ce trafic. Les chiffres que nous présentons dans ce tableau peuvent donc être considérés comme une indication sur l'importance du phénomène, qui pourra éventuellement être précisées en fonction de données complémentaires.

⁸ Present Value of Benefits (Valeur Actualisée des Bénéfices).

⁹ Les effets du projet pris en compte par les procédures d'évaluation concernent uniquement les gains de temps et de sécurité. Toutefois les gains de sécurité ne sont pas quantifiés, car le projet reporte du trafic entre deux types de voiries qui ne sont pas distinguées par l'analyse d'accidentologie menée par le COBA. Selon les termes de l'A.S.T. "*Scheme likely to improve safety by reducing weaving conflict and tail backs. But accident savings not quantified as COBA does not differentiate between D3 and D4.*"

- *Choix modal (Modal Split).*
- *Affectation (Assignment).*"

Or, chacune de ces étapes est influencée par la valeur du temps utilisée par le modélisateur. Le Tableau 2 ci-dessous indique de quelle manière les différentes étapes de ces modèles sont affectées par le choix d'une valeur du temps.

Tableau 2 : effet de la valeur du temps sur les prévisions de trafic, modèle à 5 étapes.

Localisation	Une valeur du temps élevée favorise la répartition des emplois et habitants vers les zones bénéficiant d'une bonne desserte.
Génération	Dans certaines spécifications, la génération est liée à l'accessibilité des zones. Une valeur du temps élevée aboutit à un nombre moins important de déplacements émis par les zones mal desservies.
Distribution	Les nombreuses formules disponibles reposent pour la quasi-totalité sur la notion de coût généralisé. Une valeur du temps élevée distribue une part plus importante des déplacements vers les zones les plus accessibles.
Choix modal	Une valeur du temps élevée augmente la part du mode qui permet les déplacements les plus rapides.
Affectation	Les itinéraires les plus rapides sont favorisés par l'adoption d'une valeur du temps élevée.

Typiquement, les fonctions utilisées dans la phase de *génération* de déplacement s'écrivent comme une fonction du coût généralisé de transport, soit encore comme la somme du coût monétaire et du coût en temps du déplacement¹⁰. Une telle écriture repose de manière immanente sur une valorisation du temps. On pourrait présenter des mécanismes similaires pour les autres étapes de la chaîne de modélisation. Mais au-delà de ces différents exemples, l'élément à retenir est que l'importance de la valeur du temps dans l'analyse de projet ne se réduit pas à la valorisation in fine de gains de temps, mais touche l'ensemble de la chaîne de calcul utilisée.

Il devient alors d'autant plus important de donner à cette notion une définition claire et une mesure fiable. Face à ces enjeux, quelles thématiques de recherche se sont développées en économie des transports ?

4 Les recherches en cours

On doit ici nuancer ou, du moins, ramener à sa juste proportion le constat formulé par le rapport Boiteux et que nous avons placé en introduction de notre travail. Ce que l'on constate, ce n'est pas l'absence totale de travaux sur les transports de marchandises mais plutôt un déséquilibre entre ces travaux et ceux consacrés aux voyageurs ou encore une insuffisance de ces travaux par rapport aux enjeux auxquels ils sont liés. En fait, des travaux existent, et ils sont en nombre suffisant pour nourrir plusieurs chapitres de notre travail. On s'abstiendra donc de présenter dès notre introduction l'ensemble de ces travaux. Pour indiquer la teneur des travaux en cours dans notre domaine, tout en maintenant cette introduction dans des proportions raisonnables, une solution que nous favorisons est de nous limiter à titre

¹⁰ Sur la base de Bergkvist [2001, p. 13] et avec ses notations on peut écrire :

$$X_{rs} = f(O_r, D_s, c_{rs}) = A \cdot O_r^\alpha D_s^\beta \exp(\lambda \cdot c_{rs}), \text{ avec :}$$

X_{rs} flux de transport entre O et D,

O_r , population à l'origine,

D_s , population à la destination,

c_{rs} , coût généralisé de transport entre l'origine et la destination,

$$0 \leq \alpha, \beta \leq 1, \lambda \leq 0.$$

La valeur du temps est présente dans le terme c_{rs} . Si on augmente la valeur du temps, cela aura deux effets. D'une part, X_{rs} sera faible ; d'autre part, X_{rs} sera plus sensible à la durée du transport.

illustratif, à présenter les travaux de *doctorats* qui dans les années récentes nous ont précédé dans notre recherche.

En France, deux thèses de doctorat ont été réalisées dans ce domaine et constituent aujourd'hui des références. Laura Wynter, dans ses *Contributions à la théorie et l'affectation multiclassée du trafic* soutenue à l'École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC¹¹) en 1995, consacre un chapitre à la distribution des valeurs du temps des camions mesurée au moyen de données de Préférences Déclarées et de Préférences Révélées. Ses résultats, relayés par des publications dans des revues internationales comptent parmi les références de la littérature dans ce domaine. Plus récemment, Fei Jiang a soutenu à l'ENPC une thèse intitulée : *Choix modal et système logistique en transports de marchandises : modélisation, analyse économique et prévision du comportement du chargeur* [1998], qui traite de manière approfondie de la valorisation des gains de temps par les chargeurs et de l'effet des variables logistiques sur les arbitrages de ceux-ci. Dans sa thèse, Fei Jiang consacre plusieurs chapitres à estimer des valeurs du temps.

D'autres travaux, moins centrés sur notre sujet, s'y rattachent cependant comme ceux de Laurent Lefebvre [2002] à Lille sur *Les déterminants de la productivité dans le transport routier de marchandises*, qui s'attache à définir les notions de performances et d'efficacité dans les transports de marchandises. S'y ajoutent de nombreux travaux liés aux performances des transports ferroviaires et notamment au transport combiné : Christophe Hausberg travaille sur *Les dysfonctionnements du fret ferroviaire ou les faiblesses d'exploitation de la SNCF* [à paraître]. Karine Meyer [1998] a mené à un doctorat au sein de la SNCF sur *La concurrence rail route : analyse économétrique des trafics de marchandises et des perspectives du transport combiné*. Enfin d'autres travaux concernent plus directement l'analyse coûts-avantages et notamment le travail de Sabrina Hammiche [1997] : *Cohérence du calcul économique public. Le cas de l'autoroute ferroviaire*.

Outre ces travaux proprement centrés sur les problématiques du fret, on doit aussi citer la thèse soutenue par Anne Causse à Montpellier en 1999 sur *La valeur du temps de transport : de l'usage des théories microéconomiques de l'affectation du temps dans les modèles désagrégés aléatoires de transport*. Bien qu'ils soient consacrés aux voyageurs, les travaux d'Anne Causse restent reliés à notre thématique, soit qu'ils mobilisent des raisonnements parfois transposables au transport de *marchandises*, soit que, lorsque tel n'est pas le cas, ils offrent un panorama complet de l'état de l'art en transport de *voyageurs*, qui permet de mieux faire ressortir par contraste la spécificité du transport de marchandises.

Qu'en est-il **à l'étranger** ? Nous nous en tiendrons ici, plus encore que dans le cas français, aux travaux strictement liés à notre problématique. Tout d'abord, la thèse d'économie d'Eric Bergkvist soutenue à Umeå : *Freight Transportation: Valuation of Time and Forecasting of Flows*¹² [2001], explore de nouvelles modalités de mesure de la valeur du temps des chargeurs par l'utilisation de méthodes statistiques semi-paramétriques et produit un ensemble de résultats quantitatifs sur les variations régionales des valeurs du temps entre le nord et le sud de la Suède. À Delft, la thèse de Hens Runhaar sur *Freight transport : at any price*¹³ [2002] examine l'importance des performances des services de transport pour le secteur de la presse et de l'édition.

S'ajoutent un grand nombre de travaux réalisés aux États-Unis. La thèse d'ingénierie civile de Kazuya Kawamura, intitulée *Commercial vehicle value of time and perceived benefits of congestion pricing*¹⁴ (Kawamura [1999]), examine en particulier l'hétérogénéité des valeurs du temps parmi les transporteurs routiers. Enfin, un nombre important de travaux ont été réalisés au Massachusetts Institute of Technology

¹¹ Une liste des sigles et abréviations est fournie au début de notre document.

¹² "Transport de marchandises : valorisation du temps et prévision des flux."

¹³ "Transport de marchandises : à tout prix."

¹⁴ "La valeur du temps des véhicules de transport de marchandises et les bénéfices perçus de la tarification de la congestion"

(M.I.T). Notamment la thèse de Viera [1992] sur *The value of service in freight transport*¹⁵, examine à la fois les critères de segmentation des chargeurs et l'utilisation conjointe de plusieurs sources de données dans l'estimation des valeurs du temps. Plus récemment celle de Gopinath [1995] intitulée *Modeling heterogeneity in discrete choice processes : application to travel demand*¹⁶, analyse dans son chapitre 7 le rôle de la perception dans le choix modal des entreprises.

Ce rapide tour d'horizon, loin de nous fournir un état des lieux exhaustif de la recherche en économie des transports de marchandises, nous montre que nous n'évoluons pas en terrain vierge. Mais sur ce terrain notre parcours ne se confond pas avec celui pratiqué par nos prédécesseurs. Tout d'abord, nous choisissons comme fil directeur la question de l'inclusion de la valeur du temps des chargeurs dans l'analyse coûts-avantages. Ensuite, nous proposons un traitement explicite de l'effet des durées de transport sur les différentes catégories d'agents économiques (entreprises, chargeurs, et aussi consommateurs). Cela nous amène, en outre, à étudier plus spécifiquement l'articulation entre gains de temps des transporteurs et gains de temps pour les chargeurs. Par ailleurs, notre démarche insiste sur l'hétérogénéité des valeurs du temps qui apparaît à la lumière de ce traitement, et sur les moyens de l'analyser et de la quantifier.

Pour réaliser une telle analyse, nous commençons par une présentation de l'état de l'art et l'état de la pratique (**partie I**), puis nous proposons un traitement théorique des effets d'un gain de temps sur les différents agents économiques (**partie II**). Enfin ce traitement théorique suggère des applications empiriques que nous réalisons sur la base de deux enquêtes (**partie III**).

5 Organisation du document

De manière plus détaillée, les étapes de notre réflexion sont les suivantes.

Dans un **premier chapitre**, on examine la pertinence et la définition de la valeur du temps en transport de marchandises. On restitue les différents usages de l'expression en montrant dans quelle mesure elle peut être pertinente pour l'analyse économique des transports de marchandises.

Dans le **second chapitre**, on présente une conception de la valeur du temps sous l'angle des coûts. On présente les différentes analyses économiques du coût du temps dans les transports, et on montre de quelle manière la plupart des procédures d'analyse coûts-avantages sont basées sur la prise en compte des coûts des transporteurs.

Dans un **troisième chapitre**, on présente les méthodes alternatives de mesure de la valeur du temps. Ces méthodes sont basées sur la rencontre entre un paradigme comportemental, celui de la Maximisation de l'Utilité Stochastique et deux types de données : Préférences Déclarées et Préférences Révélées. A la différence des méthodes basées sur les coûts, ces méthodes permettent de mesurer aisément, outre la valeur du temps des transporteurs, celle des chargeurs.

Le domaine des Préférences Déclarées, présenté dans le chapitre 3, étant un domaine virtuellement illimité, le **chapitre 4** approfondit certains développements de ces approches pour la valorisation des gains de temps.

Les chapitres 2, 3 et 4 permettent ainsi de présenter à la fois l'état de la pratique et l'état de l'art. Cette première partie aboutit à un questionnement sur le rôle des durées (de transport mais pas seulement) pour les différents agents économiques. Cette question est traitée dans une deuxième partie.

¹⁵ "La valeur du service dans le transport de marchandises."

¹⁶ "Modéliser l'hétérogénéité dans les processus de choix discrets : application à la demande de déplacement".

Dans le **chapitre 5**, on examine de quelle manière les durées interviennent dans les arbitrages de trois types d'agents économiques : les entreprises, qui produisent des biens, les transporteurs qui les déplacent et les consommateurs finaux qui les reçoivent. On examine de quelle manière les durées de transport relient les arbitrages effectués par les différents agents économiques.

Cette analyse réalisée, on peut examiner de quelle manière une modification (une diminution) des durées de déplacement affecte l'équilibre qui résulte de l'interaction de ces différents types d'agents. Cette analyse est réalisée dans le **chapitre 6**.

Ces deux chapitres forment une deuxième partie qui suggère l'idée d'un équilibre non pas dans le repère (prix ; quantité) mais dans le repère (prix ; durée). Cette formalisation appelle des traitements quantitatifs qui sont présentés dans la troisième partie.

Ils suggèrent ainsi une analyse du marché des transports de marchandises par une méthode hédonique. Le **chapitre 7** met en œuvre cette méthode sur la base de données recueillies auprès de chargeurs dans une enquête réalisée dans le Nord-Pas de Calais.

Dans le **chapitre 8**, en s'appuyant sur les méthodes de choix discrets à paramètres stochastiques de type Random Parameter Logit (RPL), on produira des résultats sur l'hétérogénéité des préférences des chargeurs à partir d'une enquête réalisée auprès des chargeurs en Italie.

Cette introduction nous a permis de présenter les différentes étapes auxquelles nous invitons le lecteur. Toutefois elle ne nous a pas permis de présenter que succinctement les enjeux liés à la valeur du temps. Par ailleurs, nous avons commencé à utiliser le terme valeur du temps dans des sens différents, sans toujours le définir ; une situation qui ne peut se proroger au-delà de cette entrée en matière.

Ces deux aspects sont suffisamment importants pour justifier un traitement en soi. C'est là l'objet de notre premier chapitre.

Chapitre 1 : Pertinence et définition de la valeur du temps en transport de marchandises

"Where shipments are made at a relatively regular interval, length of the transit period does not affect receipt of the goods. If a batch is shipped out weekly, a batch will also normally arrive at the terminus weekly, no matter whether the transit time is two weeks or three months. Where then is the advantage of speed ?"

W. J. Baumol et H. D. Vinod [1970]

Ce chapitre aurait pu s'intituler, ainsi que le suggère Atkins dans un séminaire du PTRC¹⁷ de 1983, *"la valeur de la valeur du temps"*. On pourrait également reprendre le titre d'un article de Claude Abraham : *"A la recherche de la valeur du temps perdue"* [2003]. La pertinence de cette notion peut paraître évidente pour l'économiste. Mais, pour beaucoup de personnes s'intéressant aux infrastructures de transport, elle ne l'est pas. On peut ainsi lire dans la note interne d'un bureau d'étude *"(que) la notion de valeur du temps fait sourire les chargeurs/ transporteurs."*

Dans ce chapitre, on examine le sens de l'expression "valeur du temps" pour le transport de marchandises, et de quelle manière cette notion peut être pertinente pour l'analyse économique. Les questions sont ici plusieurs.

En premier lieu, il s'agit de chercher à **comprendre les raisons pour lesquelles la "valeur du temps" est moins bien connue en transport de marchandises** qu'en transport de voyageurs. Les causes de cet état de fait ne résident peut-être pas (seulement) dans l'attrait supérieur des sciences sociales pour les déplacements de personnes (l'économiste a une expérience intime du déplacement des personnes, mais il a un lien plus lointain avec les mouvements de marchandises). Elles résident aussi dans des particularités de l'activité de fret que l'on est obligé de prendre en compte pour une compréhension adéquate de notre objet.

En second lieu, on devra essayer de **définir la valeur du temps**. L'expression "valeur du temps" a connu une vraie "fortune" et comme souvent en la matière cela a abouti à brouiller les définitions. Il faudra donc souligner les différents usages de cette expression et définir ceux qui nous seront utiles pour la suite de ce travail. Toutefois on ne parviendra pas, au terme de ce chapitre, à une définition "fermée" de

¹⁷ Planning and Transport Research and Computation.

la valeur du temps, ce qui nous laissera de l'espace pour préciser ou enrichir cette notion lors des chapitres suivants.

En troisième lieu, il faut examiner si ce concept **est (reste) pertinent par rapport aux organisations logistiques** mises en place par les entreprises. On se demandera notamment si, parfois, gagner du temps ne sert à rien.

En quatrième lieu, on s'interrogera sur le **caractère "réducteur" de la notion de valeur du temps**, qui tente de rassembler dans un indicateur unique des effets multiples et des situations d'entreprises très diverses. On introduira la notion de valeur du temps distribuée qui sera plus précisément traitée dans les chapitres 4 et 8.

En conclusion, on verra que, loin de justifier un abandon du sujet, ces questions nous pressent d'en approfondir l'analyse.

1 La valeur du temps en transport de marchandises est peu connue et en tout cas moins bien connue qu'en transport de voyageurs

La valeur des gains de temps a été moins analysée pour les marchandises que pour les voyageurs. On peut reprendre le constat dressé déjà en 1975 par Gwilliam et Mackie : *"La recherche est relativement plus avancée dans le domaine du transport de passagers que dans le domaine du transport de marchandises"*¹⁸. Plus récemment Vieira [1992] constatait à propos des SP (Stated Preferences¹⁹) : *"l'utilisation des SP dans le domaine du transport de marchandises en est encore à ses débuts (is incipient) par manque d'une description explicite du modèle sous-jacent de comportement des chargeurs."* Pourtant, très tôt, le calcul économique s'est intéressé aux conséquences d'une amélioration des réseaux de transport. Etner [1987] nous rappelle comment les ingénieurs économistes du XIX^{ème} siècle comme Lechalas [1879] ou Freycinet, dans son plan de 1878, ou encore Considère [1892] ont vu, non seulement dans les coûts, mais aussi dans les durées de transport des marchandises un objet d'analyse économique. Comment expliquer alors que, plus d'un siècle après les travaux de ces précurseurs, les économistes qui s'intéressent aujourd'hui au sujet considèrent que celui-ci en est encore à un stade préliminaire ? On pourra dans un premier temps invoquer deux types de raisons pour expliquer cette relative méconnaissance : soit que le transport de marchandises soit, par nature, plus **difficile à appréhender** que le transport de personnes ; soit, plus spécifiquement, que le **temps y joue** un rôle plus difficile à analyser.

1.1 Des difficultés propres à l'analyse du transport de marchandises

Le transport de marchandises impose des difficultés analytiques qui sont liées à la complexité des processus de décisions mis en œuvre et à la diversité des situations des chargeurs. Une troisième difficulté est liée à la rareté des données disponibles. Nous examinons successivement ces trois points.

Une difficulté à identifier le(s) décideur(s)

La particularité la plus apparente, ainsi que le note de Jong [1996], réside dans le fait qu'en transport de voyageurs, le décideur est le voyageur lui-même, tandis qu'en transport de marchandises : *"les*

¹⁸ Les citations sont traduites. Leur version originale est proposée en note de fin. Elles sont repérées par un appel de note en chiffres latins.

¹⁹ Préférences Déclarées.

biens ne peuvent pas déciderⁱⁱ” mais plusieurs individus, ou plusieurs agents, peuvent influencer ce choix. Mais cette différence n’est pas la plus décisive. Elle ne rend pas plus difficile la connaissance des transports de marchandises, elle ne fait que reporter une partie de l’objet d’observation des marchandises vers le chargeur.

Un obstacle important est alors **la difficulté à identifier le décideur**. Dans certaines situations on peut se trouver face à des décideurs multiples qui prennent une décision en commun. On peut également avoir affaire à une chaîne de décisions : une succession d’acteurs effectuent des choix partiels qui aboutissent à la réalisation d’une prestation de transport qu’aucun n’a sélectionnée dans son intégralité. La représentation du transport de marchandises par le triptyque : chargeur, transporteur, destinataire est une simplification. On rencontre ici la multiplicité des décideurs et des décisions impliqués par le transport de marchandises : expéditeur, commissionnaire... et la complexité des relations qui les lient. La “démographie galopante” de la sous-traitance dans le transport routier de marchandises et sa complexité croissante sont ainsi décrites par Grand [1997]. Un chargeur peut, sans même qu’il puisse s’en rendre compte, bénéficier d’un service de transport différent de celui demandé : c’est le cas notamment des services de messagerie aérienne qui utilisent en proportion importante des transports routiers de nuit. Dans d’autres situations enfin, on peut être en présence d’un *processus* de décision plus que d’une entité effectuant les arbitrages. En outre, le choix modal pourrait davantage reposer sur des habitudes, des *process* bien établis que sur une analyse économique détaillée. On est donc souvent obligé de simplifier le processus : ainsi que nous y invite Winston : *“En transport de marchandises, bien que la décision soit incorporée dans des problématiques plus larges de production, de distribution et de localisation auxquelles fait face l’entreprise ; cette décision pourrait, en définitive, être effectuée par un gestionnaire responsable de l’acheminement ou de la réception, ou pourrait refléter, assez simplement, la solution d’un problème de maximisation global de l’entrepriseⁱⁱⁱ.”* (Winston [1985]).

La diversité des situations entre envois, entre chargeurs...

Une autre différence apparente entre marchandises et personnes est que, comme le notent Fridstrøm et Madslie [1994] : *“Cette population n’est pas aussi stable que celle des personnes ; de fait l’envoi cesse d’exister dès qu’il a atteint sa destination finale”*. A la différence des personnes, chaque unité de marchandises transportée n’est, sauf cas particulier, susceptible de n’emprunter qu’une fois chaque maillon de la chaîne logistique. Toutefois cette absence de “répétition” pourrait ne pas être une cause majeure de la difficulté à appréhender le transport de marchandises. Comme le reconnaissent les mêmes auteurs il existe une stabilité, une reproductibilité dans les flux de marchandises. Cette grande régularité pourrait alors être un avantage pour la connaissance des transports puisqu’elle fournirait un objet d’analyse stable, dans ses flux, si ce n’est dans sa matière.

D’autres particularités pourraient être à la source de ces difficultés, notamment le caractère particulièrement **hétérogène du fret**. On se trouve face à une triple hétérogénéité : **celle des envois, celle des chargeurs, celle des transporteurs**. Les envois peuvent différer en taille, en valeur, en nature, en degré d’urgence, en régularité, en type de conditionnement. Fei Jiang [1998, p. 164] montre également que la destination de l’envoi modifie sa valeur du temps. Il est certes vrai que les voyageurs se différencient eux aussi par de nombreuses caractéristiques : revenus, motifs, caractère répété ou non des déplacements, etc... Pourtant le transport de marchandises se distingue par un nombre plus important de critères de différenciation et par une plus grande hétérogénéité au sein de ces critères (Roberts, [1977]). De manière typique, la **nature** de la marchandise peut varier de façon très importante (biens périssables, produits en vrac, containers) sans qu’on observe d’hétérogénéité équivalente sur le marché du transport de voyageurs. Cette diversité des envois se retrouve dans la multiplicité des segments spécialisés du marché du transport et, au sein même de ces segments, par une multitude de spécialisations plus fines. Comme le faisait remarquer Christian Calzada lors d’un séminaire : *“le seul transport sous température dirigée se répartit entre le calorifique, le frais, l’ultra frais, le lot frigorifique, la messagerie frigorifique avec des spécialités pour chaque produit de la chaîne alimentaire”*. En plus de cette segmentation, basée sur le transport, il existe de nombreuses autres causes d’hétérogénéité. Par exemple, Ogwude [1993] obtient deux valeurs du temps fortement différenciées selon que les biens transportés sont des biens destinés à la consommation finale ou à la consommation intermédiaire.

A la diversité de l'envoi, s'ajoute la **diversité des chargeurs**. Fei Jiang [1998] liste les caractéristiques de l'entreprise influant sur le choix modal : nature de l'entreprise (lieu de production, lieu de stockage), taille, localisation (accessibilité aux différents modes de transport), système d'information, nature des produits. Viera [1992] réactualise les résultats présentés par McGinnis [1978] et établit une segmentation des chargeurs en 5 groupes : "*minimum efforts shippers*" (25% des effectifs) qui sont les moins sensibles à la qualité du service, ils choisissent en général l'alternative²⁰ demandant l'effort minimum ; "*service oriented shippers*" (32%) : ils sont sensibles au niveau de service fourni par le transporteur, tout en ayant une faible élasticité aux tarifs ; "*price oriented shippers*" (20%) qui se différencient des autres par une forte sensibilité aux tarifs ; "*competitive shippers*" (10%), caractérisés par une forte sensibilité non seulement aux durées de transport mais aussi aux prix ; enfin "*inventory oriented shippers*" (8%) caractérisés par une forte sensibilité à la durée et à la fiabilité.

On pourrait lister, à l'envi, les raisons de cette hétérogénéité et analyser en complément **l'hétérogénéité des transporteurs** (technologie, mode, degré d'intégration verticale ou horizontale, etc). Au-delà de ces illustrations, le point le plus important est que cette diversité rend plus ardue la connaissance des mécanismes de choix en transport de marchandises. Toutefois elle n'implique pas que la valeur du temps soit dénuée de pertinence : par une segmentation adéquate (mode, type de biens) et par une approche appropriée (valeur pour un chargement typique, valeur pour une tonne transportée) l'hétérogénéité peut être traitée. De même, il existe plusieurs moyens pour rendre compte de la diversité des valeurs du temps en ajustant une distribution plutôt qu'une valeur du temps unique. Ces points seront l'objet de développements plus détaillés dans le corps de ce travail (chapitres 4 et 8).

L'hétérogénéité des chargeurs et des marchandises rend alors particulièrement ardue la définition d'échantillons représentatifs. Ainsi Fridstrøm [1994] s'interroge : "*existe-t-il une population de marchandises précisément définie ? Si oui, de quels individus est-elle composée : envois, commandes, tonnes, mètres cubes, tonnes.kilomètres, véhicules.kilomètres, trajets, sociétés expéditrices, sociétés réceptrices ou entreprises de transport ?*"

L'insuffisance des données disponibles

Au-delà même de ces spécificités de l'activité de transport de marchandises, un des obstacles les plus importants à la connaissance de cette activité réside dans ce que Roberts [1977] appelle le caractère "*inadéquat des données disponibles sur le transport de marchandises*". Inadéquat parce que les données les plus utiles ne sont pas disponibles ou encore parce que les données disponibles ne sont pas pertinentes pour l'analyse. On retrouve ici **la rareté de données complètes et fiables** sur le transport de marchandises, dont la cause réside souvent dans le caractère confidentiel des informations des chargeurs et des transporteurs. DeJong, Velay et Houée [2001] soulignent ainsi qu'un tiers des envois enquêtés dans leur étude RP (Revealed Preferences²¹) ne contiennent pas d'information ou bien une information douteuse sur le temps de parcours. Le taux de non-réponse sur le coût de transport est comparable.

Cet examen conforte l'impression d'une plus grande difficulté à analyser la valeur du temps pour les marchandises que pour les personnes. Peut-être doit-on également faire place aux arguments- certes minoritaires mais pertinents tout de même – qui militent en sens inverse. L'Huillier en 1960 n'affirmait-il pas exactement l'inverse de ce qui vient d'être écrit : "*le transport des passagers semble moins bien se prêter à l'analyse économique que le transport des marchandises. La rationalité des décisions de transport pour les êtres humains semble moins affirmée que celle qui concerne les objets inanimés*".

²⁰ On utilisera ici et dans la suite de ce travail, le terme "alternative" dans l'acception que lui donne l'économie des transports, c'est-à-dire comme un des choix disponibles et non, comme le voudrait le bon usage, comme une situation de choix entre plusieurs possibilités.

²¹ Préférences Révélées.

Des difficultés à relativiser ?

On est ainsi **tenté d'affirmer la rationalité** plus prégnante des choix réalisés en marchandises. Par ailleurs, les décisions concernant le transport de marchandises s'inscrivent dans un contexte de rationalisation des dépenses. En raison du budget que représentent les dépenses de transport, les choix des responsables logistiques des entreprises en la matière sont soumis à des procédures de contrôle qui impliquent de pouvoir fonder les décisions prises sur des éléments tangibles. Ce contexte de rationalité est propice à l'identification de critères de choix économiques et à l'identification d'une valorisation sous-jacente des attributs du transport. Ce point mérite un examen plus approfondi, à l'exemple de l'analyse réalisée par Rotaris [2003]. De nombreux travaux, cités par Calzada [1998], soulignent les limites de cette hypothèse et insistent notamment sur la "*rationalité limitée*" des agents économiques – fussent-ils des entreprises- dans leurs choix relatifs à des alternatives de transport. Nous reviendrons plus longuement sur cette difficulté dans le chapitre 3.

S'ajoutent à cette rationalité, et la renforce, le **caractère répétitif des choix effectués pour les mouvements de fret** et le développement des outils de contrôle de gestion et d'analyse budgétaire. Le premier de ces éléments constate la reproductibilité forte des flux de transport, reproductibilité qui donne aux envois une masse critique, susceptible de motiver une rationalisation des critères de choix, et permet aux chargeurs de disposer d'un niveau élevé d'information sur l'offre de transport. Il faudrait ici probablement nuancer ce constat en observant que peut, parfois, se mettre en place un traitement peu réactif aux modifications de l'offre de transport. Typiquement, l'existence de contrats de long terme peut rallonger la durée de réaction entre les modifications de certains fondamentaux (coût des facteurs, état du réseau) et les ajustements effectués par le chargeur.

On ne peut, au final, que constater certains des paradoxes constitutifs du transport de marchandises : reproductibilité de certains flux, mais absence de répétition des envois singuliers ; pression à la rationalisation des dépenses, mais risque de traitement routinier dans le processus de décision... Au total, il semble que des difficultés propres au transport de marchandises s'imposent à l'analyste : dissociation entre objet déplacé et unité de décision, difficulté à identifier un décideur unique, hétérogénéité des biens transportés et des entreprises concernées et, enfin, faible disponibilité des données. Ces difficultés constituent un obstacle à la connaissance des mécanismes économiques à l'œuvre dans le transport de marchandises.

A ces difficultés d'ordre général, concernant la compréhension des mécanismes de choix dans le domaine du transport de marchandises, s'ajoutent des difficultés liées au rôle particulier du *temps* dans cette activité. Ce sont ces éléments qu'il nous faut maintenant présenter en insistant sur le rôle distinct du temps dans le transport de marchandises par comparaison avec les déplacements personnels.

1.2 Spécificité du temps dans le transport de marchandises

La spécificité du temps dans le transport de marchandises est mise en évidence, par contraste, si l'on fait un **détour par la formalisation microéconomique du programme du consommateur**. Par exemple, un programme post-sérpien²² de maximisation de l'utilité du consommateur pour ses déplacements *personnels* peut s'écrire :

²² Selon de Serpa [1971] qui a introduit dans le programme du consommateur la contrainte de dotation temporelle associée à chaque activité.

$$\max_{(x_1, \dots, x_n; t_1, \dots, t_n)} U(x_1, \dots, x_n, t_1, \dots, t_n).$$

- s.c. $x \cdot p = Y$: contrainte budgétaire
 s.c. $t_i > \bar{t}_i$: i contraintes temporelles sur chaque activité.
 s.c. $\sum t_i = T$: contrainte sur la dotation temporelle totale

avec :

- x_i , quantité de bien i consommée,
 t_i , temps consacré à l'activité i ,
 \bar{t}_i , durée minimale pour réaliser une activité t ,
 x , vecteur des biens,
 p , vecteurs des prix,
 T , dotation temporelle totale,
 Y , revenu.

S'ajoute ainsi, par rapport au programme atemporel du consommateur deux contraintes : la première portant sur la dotation temporelle globale du consommateur ; la seconde portant sur les durées minimales associées à chaque activité, soit $t_i > \bar{t}_i$. Ainsi que le note Anne Causse concernant la seconde contrainte : "*ce cas de figure appréhende les situations dans lesquelles une somme minimale de temps institutionnellement, physiquement ou techniquement fixée doit être dévolue à la réalisation d'un trajet, étant entendu que l'usager est libre d'y consacrer un temps additionnel*" (Causse [1999]).

La **contrainte sur la dotation globale de temps** retranscrit l'idée d'une limite ultime que le temps disponible constitue pour les individus. "*Les ressources dont l'homme dispose sont, soit insuffisantes à un moment donné, soit mal réparties dans l'espace. Même s'il jouissait de ressources abondantes, s'il vivait en pays de Cocagne, l'homme serait encore limité par le temps, le plus rare de tous les biens*" (Barre [1970]). Le temps disponible à chacun, ne peut être produit et acheté sur un marché. Tout au plus peut-il être transféré d'une activité vers une autre. "*A la différence de nombreux autres biens, la valeur du temps n'est pas la valeur associée au fait d'augmenter la quantité de biens dont on dispose mais à celle de le transférer d'une activité vers d'autres activités*" (Daly [1996]).

La **seconde contrainte, celle sur chacune des activités**, représente, quand elle est saturée, le fait qu'un consommateur souhaiterait consacrer moins de temps que nécessaire à une activité. C'est typiquement ce qui se passe pour les transports de voyageurs, bien qu'une partie de la littérature s'intéresse également aux valeurs du temps négatives, c'est-à-dire aux activités de déplacement qui sont souhaitées pour elles-mêmes.

Quelles sont alors les différences entre le paradigme applicable aux déplacements personnels, ainsi présenté, et celui des transports de marchandises ?

Absence de dotation temporelle a priori

En premier lieu, l'individu est soumis à une contrainte de dotation temporelle limitée, tandis que l'entreprise peut, dès qu'elle n'est plus dans le très court terme, augmenter la durée pendant laquelle un facteur de production est disponible. Elle peut, en d'autres termes, acheter du temps de ses facteurs de production. **Elle est contrainte par le prix de ces facteurs et non par l'existence d'une dotation prédéfinie.** L'entreprise peut modifier la durée d'utilisation des facteurs en les achetant sur le marché des inputs. Certes, à **très court terme**, les arbitrages des transporteurs et des chargeurs, peuvent être soumis à une contrainte sur la disponibilité des facteurs.

Dans le cas du *transporteur*, on aura par exemple des engagements sur la durée de travail d'un salarié, un contrat avec un loueur qui met à disposition un matériel roulant sur une période limitée. L'existence de ces contraintes peut être prise en compte et la question est alors de savoir de quelle manière les facteurs de production, éventuellement libérés par la diminution d'une durée de déplacement,

peuvent être réutilisés pour d'autres activités productives. Toutefois, il est probable que la formulation en termes de contraintes soit trop "brutale" et qu'il existe, même à court terme, des possibilités d'arbitrage qui permettent de modifier la quantité utilisable d'un input. La formulation en termes de contraintes sur une dotation exogène de temps n'est donc valable que dans des situations rigides, de très court terme. Ces situations peuvent être pertinentes lorsqu'il s'agit de mesurer les effets de modifications imprévues des durées de déplacement, ce qui correspond à l'analyse de la *variabilité* des temps de transport. Lorsque, par contre, les modifications des durées de transport sont pérennes, prévisibles, une formalisation basée sur l'existence d'une dotation temporelle prédéfinie peut céder la place, à moyen et long terme, à une formulation basée sur le prix que l'entreprise doit payer pour disposer des facteurs pendant une certaine durée.

Qu'en est-il pour le *chargeur* ? On pourrait imaginer un programme de maximisation dans lequel la dotation temporelle d'une marchandise est fixée a priori, l'entrepreneur cherchant alors à maximiser la profitabilité de cette marchandise sous cette contrainte. Cette perspective soulève toutefois de réelles difficultés. Elles sont liées, tout d'abord, à la multiplicité des agents qui décident pour le bien au cours de son "existence". Elles sont liées, ensuite, au caractère endogène de la durée dans les arbitrages que réalise l'entreprise : la durée qui s'écoule avant la vente ou la livraison d'un produit n'est pas une donnée a priori mais dépend des décisions prises par l'entreprise.

Ces difficultés nous ont poussés à favoriser, dans notre travail, une approche basée sur l'absence de dotation temporelle a priori. En guise de synthèse, nous proposons dans le Tableau 3 une distinction, selon plusieurs critères, entre le rôle des durées pour les déplacements personnels et celui pour les déplacements liés à l'activité d'une entreprise. Outre les différences de rapport au temps entre ces deux types de déplacement, ce tableau illustre aussi l'unité qui peut exister entre ces deux "univers". Par exemple, les personnes qui se déplacent pour motif personnel sont ontologiquement les mêmes que les salariés des entreprises, qu'ils travaillent pour un transporteur ou soient des salariés en déplacement. Même si les individus sont soumis à des rapports au temps différents, même si le décideur est dans un cas la *personne* qui recherche le panier de consommations ou d'activités préféré parmi ceux compatibles avec sa contrainte budgétaire et, dans un autre, *l'entreprise* qui maximise sa fonction de profit en prenant en compte le coût (horaire) du capital ou du travail ; il n'en reste pas moins que les individus qui sont dans un cas les sujets, dans l'autre l'objet d'un choix, sont les mêmes individus soumis à un temps unique. Cela implique, entre autres, que vouloir séparer le comportement optimisateur des entreprises dans leur utilisation des heures de main d'œuvre et le comportement optimisateur des consommateurs dans l'affectation de leur temps entre le travail et les autres activités, revêt un aspect artificiel. Les dernières lignes du tableau rappellent de quelle manière ces différentes réalités sont liées entre elles²³. En

²³ Ce lien peut fournir des clefs de passage entre la valorisation du temps pour les déplacements personnels et le coût du temps de la main d'œuvre pour les entreprises. Il faut considérer trois quantités :

- (a) la productivité horaire marginale du salarié,
- (b) ses gains horaires,
- (c) la valeur du temps personnel,

L'égalité $b = c$ se justifiant par le fait que le coût d'une heure de loisir est égal au salaire auquel on renonce pour obtenir cette heure.

Il y a pourtant plusieurs raisons pour que ces trois données divergent :

(a) diverge tout d'abord de (b) par les charges sociales et les frais de gestion du personnel ou encore par des imperfections du marché qui éloignent le salaire du coût marginal..

(b) diverge de (c) car la durée de travail du salarié et son salaire ne sont pas, en général, flexibles et ne permettent pas d'inférer des conclusions marginales. "*the total benefits he obtains from the week's income exceeds the total value to him of the leisure time lost*" [le total des bénéfices qu'il obtient d'une semaine de travail excède la valeur qu'il attribue au temps de loisir perdu] (Gwilliam et Mackie [1975]). Même si des ajustements marginaux pouvaient avoir lieu, le gain qu'un salarié demande pour une heure de travail marginale ne représente pas seulement le coût de la perte d'une heure de loisir, mais aussi le coût de l'effort fourni dans le travail. La valeur d'une heure de loisir devrait ainsi être inférieure au revenu horaire marginal.

Pour être complets, (b) peut également diverger de (c) en raison de l'utilité ou de la désutilité propre au fait de se déplacer.

simplifiant, si l'on souhaitait créer un cadre parfaitement unifié, la préférence pour le loisir des personnes affecte le salaire d'équilibre, et donc le coût des facteurs.

Tableau 3 : comparaison du rôle des durées de transport : déplacements personnels et déplacements des facteurs de production

	Temps de déplacement "personnel"	Temps des facteurs de production : (déplacements des salariés, transport de marchandises).
Des biens de nature différente :		
Source de la valeur d'une diminution des durées	Contrainte sur la dotation totale de temps des individus.	L'entreprise n'a pas de contrainte sur le nombre d'heure de facteurs de production qu'elle peut utiliser. L'utilisation de ces heures est limitée par un coût.
Arbitrages possibles	Les individus peuvent réaffecter le temps entre différentes activités mais ils ne peuvent pas augmenter leur dotation.	L'entreprise peut choisir la durée d'utilisation de tel ou tel facteur.
Pourquoi les réductions des durées de transport ont-t-elles une "valeur" ?		
Coût d'opportunité du temps	Désutilité liée au fait de devoir consacrer plus de temps qu'on le souhaite à une activité.	Le coût horaire d'utilisation d'un facteur représente, sous des conditions assez générales, sa productivité marginale.
Effets d'une baisse des durées	Les réductions de durées de transport permettent de réaffecter des durées vers des activités qui sont préférées.	Pour les entreprises les réductions de durées de transport permettent : <ul style="list-style-type: none"> • de réaffecter les moyens de production utilisés vers d'autres opérations de production, et : • de réduire le coût des facteurs utilisés.
Des réalités qui sont liées :		
Une identité ontologique	<ul style="list-style-type: none"> • Celle des personnes : celles qui travaillent dans les entreprises sont les mêmes que celles qui se déplacent pour des motifs non professionnels, • Celle des durées : les heures qui passent, même conçues comme un pur contenant, sont les mêmes. 	
Une égalité comptable	La somme des heures de travail utilisées dans le programme de production des entreprises est égale à la somme des heures de travail effectuées par les consommateurs.	
Un équilibre économique	Le taux de salaire horaire est un instrument d'ajustement permettant de rapprocher le nombre d'heures de travail offertes par les personnes et le nombre d'heures de travail demandées par les entreprises.	

On constate, ainsi, à la fois l'identité ontologique entre les durées pour les personnes et pour les entreprises, et une différence dans le rapport qui relie chacune de ces catégories d'agents économiques au temps. Pour la suite de notre travail, on retiendra pour décrire le rapport au temps des entreprises, une formalisation basée sur le coût du temps plutôt que sur une dotation temporelle a priori qui quant à elle ne pourra être mobilisée que pour des arbitrages de très court terme.

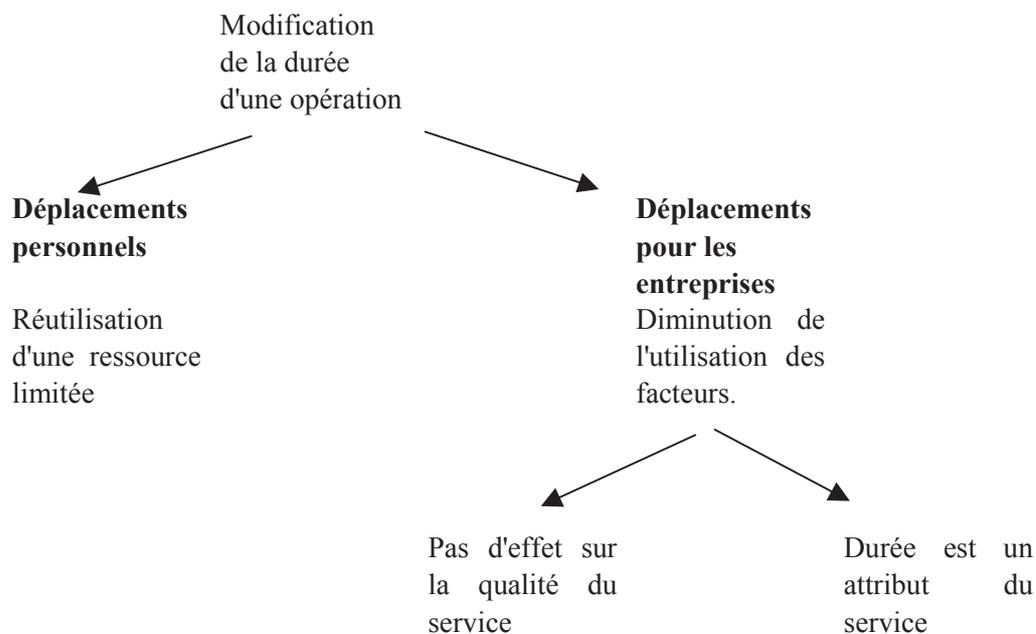
La durée comme niveau de service

La seconde différence entre le temps des déplacements personnels et le temps des facteurs de production est que, pour les entreprises, les durées de déplacement ont un effet non seulement sur les coûts de production mais également sur la **qualité du service** fourni au client, ainsi que sur les recettes de l'entreprise. Ainsi le transport de marchandises (et parfois aussi le déplacement pour motif professionnel)

Des estimations convergentes aboutissent à des valeurs du temps représentant 15 à 50 % du salaire (Gwilliam et Mackie [1975]).

a une relation biface avec le temps : coût des facteurs de production d'une part, qualité du service d'autre part. Dans le chapitre 5 nous utiliserons cette relation pour montrer comment un transporteur ou un chargeur qui maximise son profit doit prendre en compte l'effet des durées à la fois sur ses coûts et sur ses recettes. La Figure 1 ci-dessous établit donc une typologie des différents rapports au temps que l'analyste peut mettre en œuvre selon l'objet d'étude. Les durées auxquelles nous nous intéressons se situent, sauf cas particulier, dans l'arborescence située en bas à droite de ce schéma.

Figure 1 : les différentes relations entre les agents économiques et les durées de transport



Au final, on considérera qu'il existe deux régimes de la relation entre les agents économiques et le temps de transport. L'une est soumise à une contrainte sur des dotations initiales : valeur de la réaffectation de la durée d'une activité vers une autre. L'autre n'est pas soumise à une contrainte sur une dotation mais implique un arbitrage en fonction des coûts et bénéfices permis par l'achat de facteurs de production pour une durée donnée. Nous nous concentrerons sur cette situation qui, sauf à très court terme, est celle qui prévaut en transport de marchandises.

Cette dichotomie n'est pas sans conséquence. Certains concepts, pertinents pour l'analyse des transports de voyageurs, perdent leur pertinence une fois appliqués au transport de marchandises. C'est le cas, par exemple, de la "process utility" par opposition à la "product utility" (la satisfaction de "faire" par opposition à la satisfaction "d'avoir"). L'économie des transports a souligné que la notion de "process utility" s'appliquait au voyage d'agrément, par contre, il semble difficile d'intégrer cette notion dans transport des marchandises²⁴.

* *

*

²⁴ Un chauffeur de Poids Lourd a peu de chance de réaliser un déplacement pour son seul plaisir. Il pourra peut-être choisir un itinéraire plus agréable qu'un autre, mais ce phénomène devrait pouvoir être pris en compte dans une variable de confort convenablement définie.

Sont ainsi soulignées les difficultés et les spécificités que l'on rencontre dans l'analyse du transport de marchandises et l'impossibilité d'y dupliquer, sauf pour des arbitrages de très court terme, la conception du temps qui prévaut en transport de voyageurs, sous la forme d'une dotation initiale donnée.

Ce statut particulier du temps fournit un cadre d'analyse général pour notre objet, mais il ne permet pas d'en fournir une définition. Il devient alors nécessaire à ce point de s'arrêter sur l'expression "valeur du temps" et de voir quelle(s) définition(s) on peut lui donner.

2 Peut-on donner une valeur au temps ?

On commencera par se demander quel est le "temps" de la "valeur du temps", puis on examinera quelle est la "valeur" dont nous parle la "valeur du temps".

Quel est donc ce temps dont nous parle l'économie des transports ? Après avoir insisté sur les spécificités du temps dans l'analyse économique, nous montrerons en quoi le temps est lui aussi un terme polysémique et que plusieurs dimensions du temps peuvent être valorisées.

2.1 L'analyse économique du temps

En paraphrasant l'incipit de bon nombre de travaux, on pourrait dire que, de tout temps, le temps a été étudié par les économistes. Soit que le temps ait été intégré aux analyses majeures de la discipline : Arrow, Samuelson, Hicks, Keynes ; soit que d'autres économistes aient fait de ce thème l'objet principal de leur investigation : Georgescu-Roegen, Rosenstein-Rodan, Shackle, Lange, Bohm-Bewerk. Des tentatives de synthèses ou de classifications ont été réalisées, pour un certain nombre, au début du siècle dernier, notamment par Voegolin : *"Die Zeit in der Wirtschaft"*²⁵ [1924], Foa : *"Di alcune influenze del tempo sul valore"*²⁶ [1928] et Wittenburg : *"Wirtschaft und Zeit"*²⁷ [1932]. Mais Rosenstein-Rodan [1934] soulignait combien ces classifications lui semblaient décevantes par rapport au sujet : *"des tentatives de classification (qui cependant n'ont pas été très loin en la matière) ont été réalisées^{iv}"*. Plus proche de nous, Currie et Steedman [1990] suggèrent deux axes pour l'étude du temps dans l'économie. Un premier axe qui concerne le rôle du temps dans les processus d'ajustement et dans la formation de l'équilibre général, un second axe qui s'attache à analyser le rôle du temps dans les préférences des consommateurs et est centré sur la notion d'utilité anticipée.

Les thématiques mobilisées par l'étude économique du temps sont, on le voit déjà, extrêmement diverses. Elles s'étendent d'aspects apparemment anecdotiques tels que l'analyse économique du sentiment d'accélération du temps qui passe que mène Samuelson dans un article au titre évocateur : *"Speeding up of time with age in recognition of life as fleeting"*²⁸ [1976] ou encore l'analyse de la rationalité des comportements de procrastination, en mettant en œuvre la notion d'actualisation, que réalise Fisher [1999] dans un article au titre comminatoire *"Read this paper later"*²⁹ ; à l'analyse de mécanismes fondamentaux de la dynamique économique (il suffit ici de mentionner le taux d'intérêt). Il serait hors de propos (et hors de portée) de développer ici l'ensemble des théories économiques liées au temps. On peut toutefois présenter certains points saillants de ces travaux, susceptibles d'être mis en relation avec notre sujet, qui pourront être réactivés dans le corps de notre travail.

Nous ne nous attarderons pas sur les thématiques qui ne concernent notre sujet que de manière éloignée, par exemple : la représentation du temps dans la théorie de l'équilibre général (Hicks [1976]), la

²⁵ "Le temps dans l'économie."

²⁶ "De certaines influences du temps sur la valeur."

²⁷ "Temps et économie."

²⁸ "L'accélération du temps avec l'âge comme reconnaissance du caractère évanescent de la vie."

²⁹ "Lisez cet article plus tard."

prise en compte des **délais d'ajustement** ou le **temps comme une coordonnée historique** qui "*relativise la théorie et la politique économique*" (Barre [1950] p. 247). On ne s'attardera pas non plus sur le temps de la cliométrie, ou encore le temps comme support de l'analyse des cycles (Clark [1923]).

Une thématique moins éloignée de notre sujet est celle du temps comme **période**. La période permet une décomposition fictive des mécanismes économiques. On retrouve ici les interrogations formulées par Debreu, dans sa "*Theory of value*³⁰" [1959], sur le choix approprié de l'horizon temporel et celui de la durée de chaque période élémentaire. Le lien est que, dès lors que l'on considère des arbitrages des agents économiques dans le temps, il faut, à moins de raisonner en temps continu, s'assurer que la représentation discontinue du temps que l'on utilise, c'est-à-dire nommément la période, ne risque pas de dénaturer le phénomène étudié. A ce stade, nous pouvons illustrer cela sur la base du modèle sérprien de valorisation des gains de temps pour les déplacements personnels. Que signifie la dotation temporelle du consommateur ? Représente-t-elle son espérance de vie ? Représente-t-elle une durée congruente avec la capacité du consommateur à se projeter mentalement dans le futur ? Il est trop tôt pour montrer l'ensemble des liens entre cette thématique et notre sujet, mais on peut, dès à présent, indiquer que l'analyse du temps dans le transport de marchandises, que nous proposons dans les Chapitres 5 et 6, repose, elle aussi, sur la fiction d'une période. Il faudra alors garder à l'esprit la remarque formulée par Shackle [1973 p. 40] : "*la méthode basée sur la période est une élaboration fortement irréaliste et la seule manière de justifier son utilisation est de se demander quelle autre méthode peut être utilisée*".

Une autre thématique présente de manière plus importante dans l'analyse économique est celle du **temps de l'actualisation : le futur comme incertitude ou comme éloignement**. On retrouve ici "*la pression analytique exercée par l'ignorance de ce que les temps à venir nous imposent*"^{viii} (Vickers, [1992]) et les différentes analyses développées par la science économique pour répondre à cette pression. Qu'il s'agisse d'approches subjectivistes, illustrées par Schackle ([1958], [1973] et [1990]), aptes à rendre compte du caractère personnel et irréductible du rapport au temps des individus, mais difficilement mobilisables pour la construction d'un paradigme comportemental qu'il soit descriptif ou normatif ; ou d'approches affines avec le paradigme de l'homo economicus, telles que le modèle d'actualisation de l'utilité formulé (mais pas nécessairement défendu) par Samuelson [1937] et dont la pertinence est discutée par Koopmans [1960] ou, plus récemment, par Frederick, Loewenstein et Donoghue [2002]. Nous verrons dans le chapitre 5 que cette notion d'actualisation ou celle, connexe, "d'impatience" (Laibson [1994]), n'est pas sans lien avec notre sujet et que l'analyse de préférences intertemporelles des consommateurs, ou d'une forme particulière de ces préférences intertemporelles, contribue à la connaissance de la valeur du temps pour les chargeurs ou les transporteurs.

Outre les aspects liés à l'actualisation et aux préférences temporelles, le rôle du temps dans la théorie du consommateur est également traité, non plus sous l'angle de l'incertitude, mais sous celui de la **rareté**. Comme le résume le titre d'un article de Steedman [2001] : "*Consumption takes time, implications for economic theory*"³¹. Un des précurseurs sur ce point fut Rosenstein-Rodan [1934] qui analyse comment la durée nécessaire à la consommation d'un bien "*est un élément complémentaire d'un bien économique, plutôt qu'un bien économique au sens propre*"^{viii}. Cette thématique recouvre tout d'abord les travaux de la "*household economics*", dont la figure emblématique est Gary Becker. En montrant comment les personnes tirent une satisfaction, non pas tant de la consommation directe de biens mais des flux de services fournis par ces biens, l'analyse de Becker donne un rôle central au temps, sous les espèces de la durée qu'il est nécessaire de consacrer, comme un bien complémentaire, à la production-consommation des services fournis par les produits. On peut tracer de manière assez visible la généalogie qui lie ces travaux à ceux sur la valeur du temps des voyageurs. La reformulation de la théorie de Becker par Evans [1972] et l'introduction explicite des contraintes temporelles sur les durées consacrées aux différentes activités, donnera naissance au modèle présenté par de Serpa [1971] et à ses développements plus récents dans l'analyse des comportements de déplacement dont on trouve la description précise, par exemple, dans Jiang et Morikawa [2004].

³⁰ "*Théorie de la valeur.*"

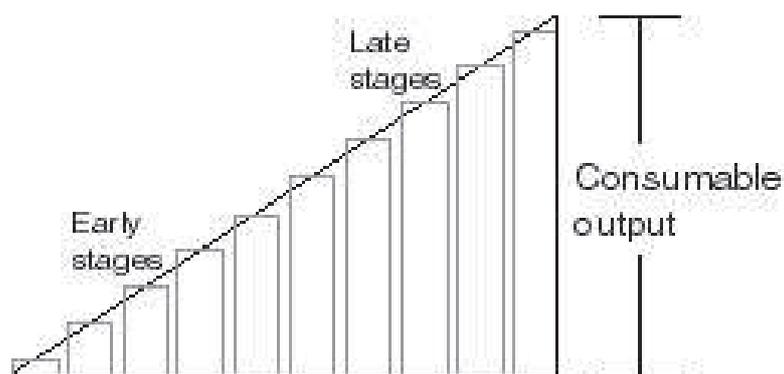
³¹ "*La consommation prend du temps, implications pour la théorie économique.*"

Le temps, conçu sous l'angle de la durée de consommation, a ainsi été une des sources de la formalisation de la valeur du temps en transport de voyageurs. Ce n'est toutefois pas cette conception qui nous a fourni les éléments les plus décisifs pour analyser la valeur du temps des marchandises. Ainsi que nous l'avons suggéré précédemment, la contrainte sur les durées consacrées à une activité, n'est pertinente, pour l'analyse du transport de marchandises, que pour des arbitrages de très court terme.

Il est alors peut-être plus pertinent de regarder de quelle manière le temps a été analysé dans **la production**. Sur ce point, la théorie économique subit l'attraction de l'école Autrichienne, qui contribue de manière prédominante aux analyses du temps dans la production.

Au-delà des diversités internes à l'école Autrichienne que soulignait, par exemple, Hicks [1976] en opposant "*l'economics in time*" (économie dans le temps) de Bohm-Bewerk et "*l'economics of time*" (économie du temps) de Menger, (la seconde étant selon Hicks plus proche de la réalité en ce que, elle seule, rend compte du caractère irréversible du temps), cette école est réunie par un mode de représentation commun de la production : la décomposition de la production en une succession d'opérations qui se suivent sur un axe temporel, chacune d'entre elles accroissant la valeur du bien. Ainsi que le formule un de ses tenants actuels : "*l'analyse économique de l'école Autrichienne représente un processus de production – une séquence d'activités dans laquelle les extrants associés à certaines activités entrent, en tant qu'inputs, dans les activités suivantes (...)*"^{viii}. (Garrison [2005]). La production peut alors être représentée, comme sur la Figure 2 par un histogramme cumulé, qui correspond à l'accumulation de valeur du bien au cours du temps qui s'écoule pour la production.

Figure 2 : la structure du capital : représentation du temps de la production pour l'école Autrichienne³²



Source : Garrison [2005]

On trouve, dans la réflexion hétérodoxe des Autrichiens, un corps théorique sur l'analyse du temps dans la production. Une des difficultés principales pour relier ce corps théorique à notre sujet est – outre le choix drastique qu'impose l'approche autrichienne en ce qu'elle est difficilement miscible avec les approches plus orthodoxes, qu'elle met l'accent sur la manière dont les variables macroéconomiques se répercutent sur la "structure du capital" ou sur la répartition du capital entre les différentes phases successives de la production. Par exemple, une augmentation du taux d'épargne aura un effet récessif sur la consommation qui se répercutera sur les étapes de production en aval. Mais, en même temps, cette augmentation favorisera, du fait de la baisse du taux d'intérêt, le déplacement du capital vers les étapes les plus en amont de la production. La question des Autrichiens ne concerne alors pas directement l'arbitrage à effectuer par l'entrepreneur entre la durée à consacrer aux différentes opérations de production, et encore moins les arbitrages concernant cette opération de production un peu particulière qui nous intéresse : le transport.

³² Early stages (phases précoces), Late stages (phases tardives), Consumable output (produit consommable)

Certes, des modèles plus spécifiques, d'inspiration autrichienne, pourraient nous fournir une base pour établir un lien avec notre problématique. C'est le cas par exemple du modèle "fonds / flux" présenté par Georgescu-Roegen ("*The entropy law and the economic process*"³³ [1971]) qui repose sur la prise en compte du caractère temporel de la production. C'est le cas, également, de la reformulation mathématique de ce modèle proposé par Tani [1984]. Mais, ici encore, cette analyse nous semble donner un rôle secondaire aux durées consacrées aux opérations de production. De manière emblématique, Tani [1984 p. 207] explique comment la question de la durée de production ou celle de la vitesse de fonctionnement d'une machine peut être négligée dans cette analyse : "*des vitesses inférieures pourront être traitées comme si le fonctionnement des installations à leur vitesse maximale, alternait avec des périodes d'inactivités des mêmes installations*"^{ix}.

Au final, bien qu'il place le temps au cœur de sa conception de la production, le modèle "fonds / flux", n'est pas apparu, à nos yeux, le plus apte à servir de base à une analyse de la valeur du temps dans le transport. Ce sont donc d'autres pistes que nous avons explorées et qui sont présentées par la suite.

La difficulté est alors que, si l'on met à part l'approche autrichienne, l'examen du rôle du temps dans la production a fait l'objet d'un nombre d'analyse moins important que dans de nombreux domaines. On trouve, d'une part, les analyses ponctuelles menées par Ragnar Frisch qui dédie un chapitre de la *Theory of production*³⁴ [1965] à la "*time shaped production*" (production répartie dans le temps). On trouve, d'autre part, les travaux de Gordon Winston sur l'utilisation optimale du capital (Winston [1974] et [1982]) qui montre comment les entreprises doivent arbitrer entre la concentration de la production dans les heures de la journée où le facteur travail et le moins coûteux, et l'utilisation du capital sur l'ensemble de la journée qui permet d'amortir le coût horaire de celui-ci. De cet arbitrage, résulte un taux optimal d'inactivité (*idleness*) du capital. On trouve d'autre part, des travaux scientifiques sur le management qui s'intéressent principalement au temps comme avantage compétitif (Stalk [1988]) soit en termes de durées du cycle d'innovation (design to market) soit en termes de durées de production de chaque unité (order to market).

Cette présentation sélective et, nous le reconnaissons, partielle du rôle du temps dans l'analyse économique suggère que notre sujet ne se rattache pas de manière évidente à une thématique clairement identifiée de la science économique. Là où le lien est le plus apparent, c'est-à-dire avec, d'une part, les successeurs de l'analyse béckerienne et, d'autre part, l'école Autrichienne, il s'est pour notre démarche révélé assez peu facile à mobiliser.

Une des raisons en est peut être alors à rechercher dans la nature particulière du "temps" auquel s'intéresse la valeur du temps. Cela nous amène à nous demander quel est plus précisément ce temps dont parle l'expression "*valeur du temps*".

2.2 Définitions du temps

Le temps dans le transport de marchandises intervient de manière multiple. Nous montrons tout d'abord quelles sont les différentes dimensions temporelles du transport de marchandises, avant de nous concentrer sur l'une d'entre elles : "les durées".

³³ "*La loi de l'entropie et le processus économique.*"

³⁴ La théorie de la production.

Différentes dimensions du temps dans le transport de marchandises, durée, fiabilité, régularité, fréquence, quel temps valoriser ?

On cherche, tout d'abord, à établir une catégorisation qui distingue la valeur du temps en fonction de l'objet même de cette mesure. S'imposent alors différentes catégories.

Valeur instantanée / valeur du temps consacré à une activité / valeur de la disponibilité d'un bien

Faisons, de nouveau, un détour par l'économie du consommateur. Ainsi que nous le rappellent les formalisations du programme de maximisation du consommateur dans leur formulation pré ou post sérienne (et aussi dans leur formulation en termes de "*choix d'activité*"), le temps a une utilité (ou une désutilité) différente, selon l'activité auquel on le consacre. Pour le consommateur, le temps n'a pas la même utilité au domicile ou au travail et c'est le différentiel entre les deux qui justifie, comme le rappelle Zerguini [à paraître], le déplacement domicile-travail. Dans le domaine des transports de marchandises, c'est le différentiel de profitabilité du bien entre deux lieux qui justifie de le transporter. Et c'est la variation additionnelle de cette "profitabilité" entre différents "moments", qui peut donner une valeur au fait de modifier les durées de déplacement.

Valeur des réductions de la durée / gain de temps

C'est là le sens le plus traditionnel de la "valeur du temps", celui que les anglo-saxons désignent sous les initiales VTTS pour Value of Travel Time Savings. Dans le paradigme du transport de voyageurs, il s'agit de la valeur du transfert d'une activité déterminée vers d'autres activités. Pour le transport de marchandises, cette notion prend un sens sensiblement différent. Ce point sera examiné dans les chapitres 5 et 6.

Valeur de la fiabilité

Ce point nécessite d'être présenté plus en détail, car il mêle plusieurs aspects : à la fois des aspects qui sont liés à l'offre du réseau de transport et des aspects qui sont liés à la performance des opérateurs. De nombreux termes sont utilisés pour décrire la capacité des opérateurs ou des réseaux à offrir des prestations dans des durées prévisibles : *fiabilité*, *ponctualité*, *incertitude*, *variabilité*. On pourrait également utiliser la notion de *risque*, qui s'applique lorsque les personnes n'ont pas connaissance de la loi de probabilité d'un événement. Par simplification, on considère ici seulement les situations dans lesquelles les entreprises connaissent les probabilités des différents événements. Les notions que l'on peut alors mobiliser diffèrent tout d'abord parce que certaines s'appliquent (i) au réseau de transport, tandis que d'autres s'appliquent (ii) au service fourni par un opérateur.

On propose dans l'encadré 1 un ensemble de définitions qui permettent de distinguer les termes incertitude, ponctualité, variabilité, ponctualité. Ces différentes définitions sont, en outre, reprises dans la Figure 3.

encadré 1 : différentes définitions de la fiabilité

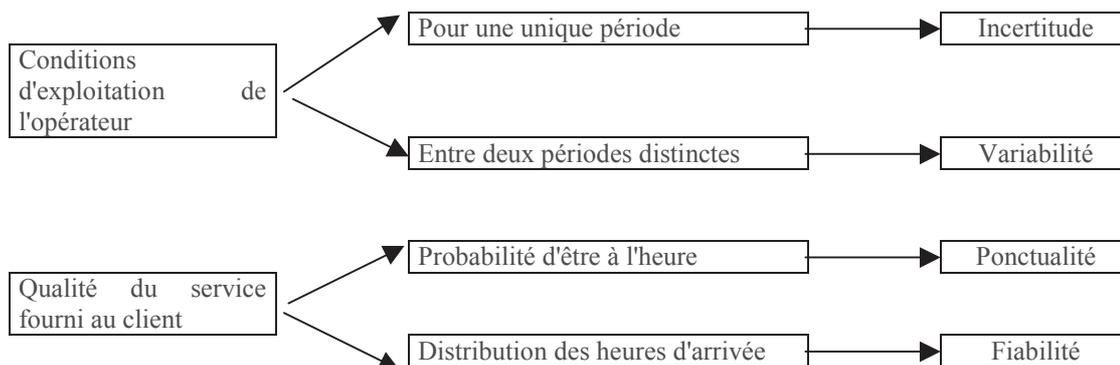
On suggère, mais il existe ici une marge d'appréciation, que *fiabilité* et *ponctualité* s'appliquent au niveau de service fourni par l'opérateur, tandis qu'*incertitude* et *variabilité*, peuvent s'appliquer aussi aux conditions dans lesquelles le transporteur opère.

Si l'on veut, en outre, distinguer les deux premiers termes : *fiabilité* et *ponctualité*, on pourrait reprendre une distinction proposée par John Bates : appliquer la *fiabilité* à l'ensemble de la loi de probabilité des retards tandis que la *ponctualité* se réfère à la proportion des envois qui ne sont pas en retard. Cette distinction pourrait ne pas être absolue, elle contient une part d'appréciation ; mais elle permet d'introduire des distinctions conceptuelles que l'on ne pourrait pas faire si l'on supposait ces termes synonymes.

Les deux autres termes : *incertitude* et *variabilité* peuvent aussi être distingués. Conceptuellement, la durée de déplacement peut être variable entre deux périodes et pourtant parfaitement connue. Certes, dans la

plupart des cas, les horaires d'arrivée des marchandises à destination seront à la fois variables et incertains. Mais ces deux dimensions gagnent tout de même à être distinguées. C'est le cas par exemple pour des services de transport maritime soumis à des contraintes liées aux marées : dans ce cas le service sera fortement *variable*, mais en même temps parfaitement *prévisible*. Reste que d'un point de vue conceptuel, on peut distinguer la *variabilité* : différence de durée de parcours entre deux périodes et l'*incertitude* : variation non prévisible de la durée au sein d'une période donnée³⁵.

Figure 3 : différentes notions pour décrire la fiabilité en transport de marchandises



Valeur de la **flexibilité**

Pour le chargeur, le fait de pouvoir retarder son engagement avec un transporteur a une "valeur". A cette valeur, du côté de la demande, correspond du côté de l'offre les coûts que doivent supporter les transporteurs pour offrir une réactivité. La valeur de la flexibilité est la valeur d'un service mais également une valeur du temps : celui, d'une part, laissé au chargeur avant la transaction pour prendre sa décision ; celui, d'autre part, laissé au transporteur, après la transaction, pour organiser la production.

Valeur de la **fréquence**

La valeur de la fréquence n'a de sens que pour les services de transport réguliers. Elle pourrait revêtir une importance stratégique croissante du fait de la volonté politique de transférer une quantité importante de fret vers le mode ferroviaire ou combiné. La valeur de la fréquence est affine avec la valeur de la flexibilité, dans la mesure où une fréquence accrue offre de la flexibilité au transporteur ou au chargeur.

Valeur de la **continuité temporelle du service**

Elle se réfère au fait que le service soit à l'abri des interruptions (quelle qu'en soit la raison : grèves, météorologie). Ainsi que l'écrivent Gwilliam et Mackie [1975, p. 57] : "*certaines entreprises se sont opposées à des tentatives récentes de leur imposer l'envoi de tout leur trafic lourd à longue distance par le fer, parce que cela les rendrait particulièrement exposées aux grèves du rail*". Cette dimension est proche des notions de fiabilité et de fréquence, mais elle ne se confond pas avec elles. Un service de ferroutage peut fonctionner de manière fréquente mais non permanente, une interruption peut être parfaitement prévisible mais néanmoins pénalisante pour les opérateurs, à l'exemple des marées pour certains services de transport maritimes.

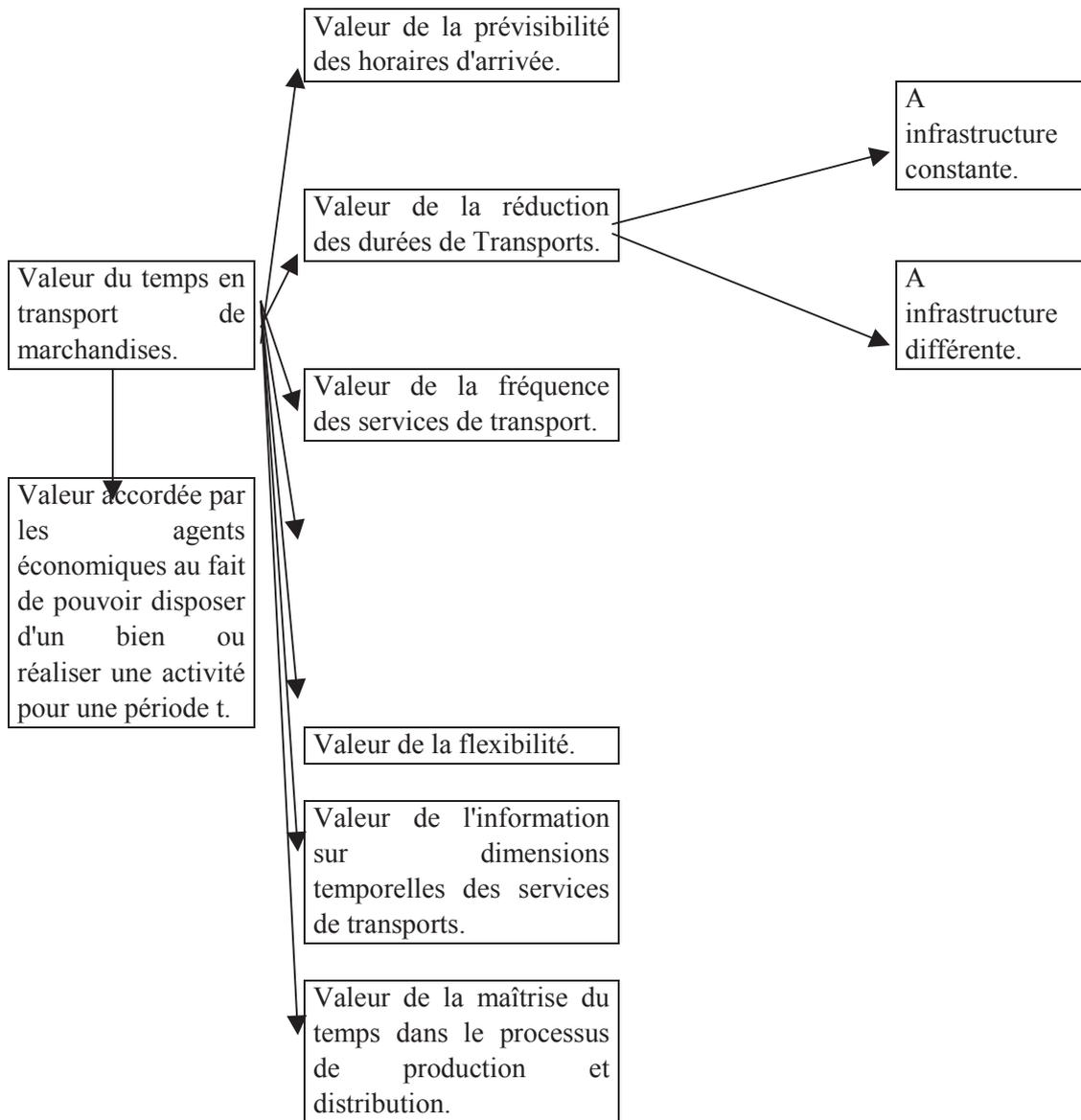
³⁵ Il est probable que l'*incertitude* soit empiriquement corrélée avec la *variabilité*. Une interprétation possible de cette corrélation est que la variabilité des durées de transport est la conséquence de la complexité du processus de production du service de transport, cette complexité étant à son tour un facteur d'incertitude

Valeur de l'information sur le temps

Ce thème est fécond dans la littérature contemporaine sur la logistique. Disposer d'une information sur le "moment" de livraison d'un produit, permet à l'entreprise de redéfinir en temps réel sa stratégie de production optimale. Par exemple, Denant-Boëmont et Hammiche [2005] illustrent, par une approche d'économie expérimentale, la valeur que des transporteurs, utilisateurs potentiels d'un service de ferroutage, peuvent attribuer à une information sur l'état du réseau routier.

Au final, les différentes dimensions temporelles du transport de marchandises sont représentées sur la Figure 4. Chacune d'entre elles nécessiterait une analyse spécifique. On se concentrera sur la valeur de la "durée", une notion qui, à son tour, nécessite d'être précisée.

Figure 4 : différents aspects de la valeur du temps



Les durées : déplacement et transport

Si l'on se concentre uniquement sur les durées, il apparaît nécessaire d'effectuer des distinctions et, *summa divisio*, une distinction entre durées de *déplacement* et durées de *transport*. Gouernal et Hannappe [1995] nous rappellent : "*on est frappé par les vitesses commerciales très faibles : selon les modes de transport, elles sont inférieures au quart (route) voire au vingtième (avion) de la vitesse de croisière des véhicules correspondants*". Cette remarque montre l'importance de ce que l'on pourrait appeler, en première analyse seulement, des "temps morts" ou, du moins, des durées qui ne sont pas utilisées pour des déplacements, à proprement parler, et qui correspondent à des étapes intermédiaires des opérations de transport.

On peut illustrer ce phénomène par un exemple qui nous est fourni, non pas par la presse scientifique, mais par la presse professionnelle : le transport d'un colis par messagerie entre Gonesse en Ile-de-France et Villeurbanne en région lyonnaise (Rail et Transports [2002]). Le Tableau 4 ci-dessous décompose cet envoi en une série d'opérations élémentaires, et indique à la fois le lieu dans lequel se situe le bien pour chaque étape, l'opération qui est exécutée, le point kilométrique auquel cette opération a lieu, ainsi que leur cumul, l'heure à laquelle l'opération a lieu. Les deux dernières colonnes fournissent la durée de chaque opération et la vitesse de déplacement correspondante. Le Tableau 5 synthétise ces données et fournit la décomposition des durées de transport entre durées passées en déplacement et durées passées dans d'autres opérations. Il fournit également des indications sur la vitesse *maximale* atteinte lors du déplacement, la vitesse *moyenne* lors des déplacements, et la vitesse *moyenne sur l'ensemble de l'envoi*.

Tableau 4 : durée de déplacement et durées de transports : une étude de cas pour un envoi par messagerie entre Paris et Lyon

Description du déplacement					Durée	Vitesse de déplacement	
Lieux	Opérations	km	km cumul	jour	heure mn	heures	km/h.
Gonesse	Départ du camion pour l'enlèvement de la marchandise.	0	0	1	13 h 34		
Eponne	Arrivée du camion pour l'enlèvement de la marchandise.	53	53	1	14 h 51	1,28	41,3
Eponne	Départ du camion chargé pour rabattement.		53	1	15 h 34	0,72	0
Gonesse	Arrivée du camion au centre de tri.	53	106	1	16 h 34	1,00	53,0
Gonesse			106	1	17 h 20	0,77	0
Gonesse	Chargement		106	1	17 h 25	0,08	0
Gonesse	Départ.		106	1	17 h 36	0,18	0
Pouilly	Arrêt pour pause.	346	452	1	21 h 50	4,23	81,7
Pouilly	Départ suite à la pause.		452	1	22 h 35	0,75	0
Lyon	Arrivée.	167,8	619,8	2	0 h 58	2,38	70,4
Lyon	Mise à quai pour le départ et stockage.		619,8	2	1 h 30	0,53	0
Lyon	Classement et préparation pour l'envoi.		619,8	2	7 h 00	5,50	0
Lyon	Chargement.		619,8	2	7 h 30	0,50	0
Lyon	Départ.		619,8	2	8 h 30	1,00	0
Villeurbanne	Arrivée.	4,8	624,6	2	11 h 28	2,97	1,6
Villeurbanne	Remise de la marchandise.		624,6	2	11 h 31	0,05	0

Source : à partir de Rail et Transport [2002]

On peut observer, sur le Tableau 4 et le Tableau 5, l'importance des durées qui sont consacrées à des opérations autres que le déplacement. La marchandise passe presque la moitié de son temps "immobilisée" dans des phases de stockage intermédiaire, de repos, de chargement et de déchargement et,

si elle se déplace à une vitesse moyenne de 80 km/h pendant 4 heures 20, elle ne rallie sa destination qu'à une vitesse moyenne (entre l'enlèvement et la livraison) de 28 km/h.

Tableau 5 : données de synthèse sur un envoi transporté par messagerie entre Paris et Lyon

Durée de transport	22,0	heure
Durée de déplacement	11,87	heure
Durée hors déplacement	10,1	heure
Vitesse maximale atteinte lors d'un des déplacements	81,73	km/h.
Vitesse moyenne lors des déplacements	52,63	km/h.
Vitesse moyenne sur l'ensemble de l'envoi	28,46	km/h.

Source : à partir de Rail et Transport [2002]

Au-delà de cet exemple, il apparaît surtout important de pouvoir réaliser une **classification qui sera réutilisée pour l'ensemble de notre travail**. On peut ici distinguer parmi ces durées plusieurs ensembles :

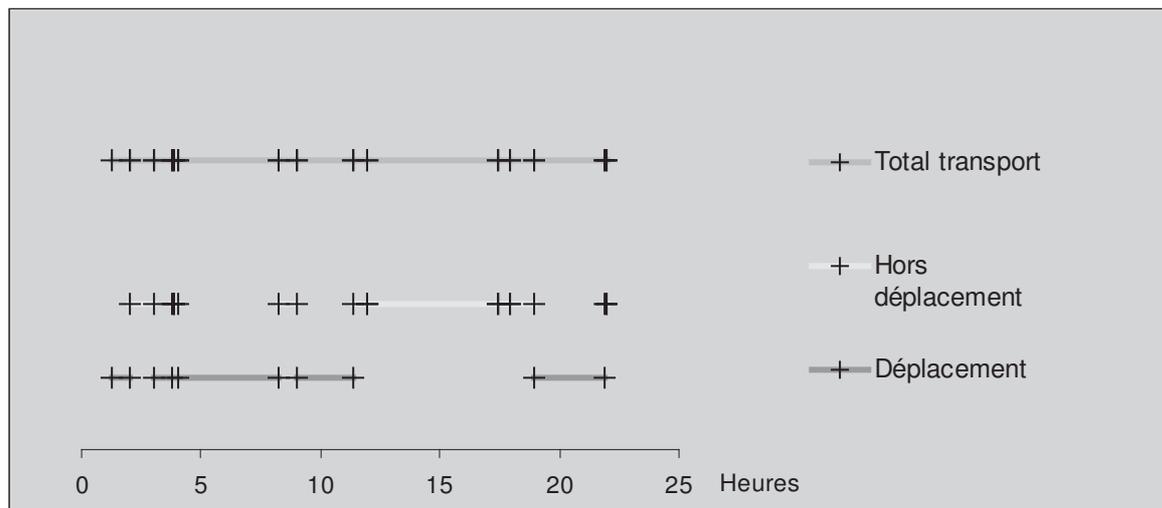
- Les **durées de déplacement** au cours desquelles le bien est, à proprement parler, déplacé. Ce sont les durées passées dans un vecteur en déplacement.
- Les **durées hors déplacement**³⁶ qui s'insinuent à toutes les étapes d'une chaîne d'opérations de transport : temps d'attente du véhicule du fait de la législation sur le travail, temps de chargement ou déchargement, durée de stockage, attente lors de la mise à disposition sur le lieu de départ, tri, formalités de passages d'une frontière, etc. On pourra aussi inclure dans cette liste les opérations annexes qui n'entrent pas dans l'activité de transport à proprement parler mais qui peuvent immobiliser le bien pendant une certaine durée.
- La **durée de transport** est la somme de la durée de déplacement et de la durée hors déplacement. Elle est la durée qui s'écoule entre le moment où l'entreprise expéditrice met le bien à disposition du transporteur et le moment où le destinataire reçoit le bien.

On pourrait enfin introduire une autre notion : la **durée de livraison** que nous définirons de manière simple comme la durée qui s'écoule entre la passation de la commande et la réception de la marchandise. Le délai de livraison sur-rajoute à la durée de transport le temps nécessaire à l'organisation du déplacement. Pour la suite de notre travail, nous nous concentrerons cependant principalement sur les durées de transport et de déplacement.

La Figure 5 ci-dessous illustre la succession de ces durées pour le même exemple d'un envoi de messagerie de Gonesse à Villeurbanne. L'axe situé à la base de ce graphique nous montre le temps chronologique qui s'écoule sur une durée de 25 heures. Immédiatement au-dessus de cet axe sont représentées les durées qui sont passées en déplacement. Au-dessus sont indiquées les durées dédiées à des opérations hors déplacement. La somme de ces deux durées reconstitue la durée de transport (avant dernière ligne vers le haut).

³⁶ On pourra trouver différentes expressions pour distinguer ces deux types de durées. L'anglais permet de former : "*travel time*" à opposer aux "*non-travel time*". On pourrait aussi sur la base du latin proposer une distinction entre durées "*cum itineris*" et durées "*sine itineris*". Enfin sur la base du mot utilisé en grec pour désigner les déplacements on pourra proposer : durées "*métakinésiques*" opposées aux durées "*amétakinésiques*". De ces différentes appellations, celle basée sur le grec nous semble la plus facile à manier, elle nous paraît cependant d'une compréhension moins immédiate que celle basée sur le français. Nous nous en tiendrons donc pour l'essentiel à cette dernière.

Figure 5 : les différentes durées dans la prestation de transport (un exemple)



Source : à partir de Rail et Transport [2002]

On voit ainsi que les durées impliquées dans l'acte de transport appartiennent à des catégories distinctes. Or, les prévisions de trafic ou l'évaluation de projet considèrent parfois que tout se passe comme si le transport était tout entier dans le déplacement. Une moindre tâche du présent travail n'est pas d'examiner comment ces durées hétérogènes peuvent être intégrées dans une analyse économique. Nous montrerons comment l'intégration de ces différentes durées peut se faire par la formulation d'une fonction de coût minimum qui dépend des durées consacrées, d'une part, au déplacement et, d'autre part, aux opérations hors déplacement.

Amplitude des gains de temps

Les durées se différencient ainsi par la nature de l'activité dont elles sont le support. A cette distinction, selon la nature, s'ajoute une distinction en terme de degré, ou **d'amplitude**. Car les modifications de durées qui font l'objet d'une analyse coûts-avantages sont souvent d'une ampleur qui paraît réduite. La plupart d'entre elles se situent aux alentours de quelques minutes, et dépassent exceptionnellement l'heure. Sur ce point, il est utile de présenter quelques chiffres. Nous n'avons pas pu obtenir des telles données pour la France, et constatant la facilité beaucoup plus grande à les obtenir pour la Grande-Bretagne, nous avons élaboré un tableau de synthèse (Tableau 6) des gains de temps proposés par les différents projets d'infrastructure routière étudiés par le Department of Environment Transport and the Regions³⁷ (DETR).

³⁷ Ministère de l'environnement, des transports et des régions.

Tableau 6 : gains de temps permis par des projets d'infrastructures, illustration sur 20 projets britanniques

Nom du projet	Heure de pointe	Interpointe
A1 : Willowburn – Denwick Imp.	0,3 min.	0,3 min.
A1 : (M) Wetherby / Walshford (YH)	0,7 min.	0,4 min.
A1 : (Bean-Cobham ph.1) (GOSE)	1,1 min.	0,3 min.
A2 : (Bean-Cobham ph.2) (GOSE)	0,7 min.	0,2 min.
A2/A282/M25 J.2 Dartford (GOSE)	n. d ³⁸ .	n. d.
A3 : Hindhead (GOSE)	15 min.	5 min.
A4 : Waggoners / Henlys Corner (GOL)	n. d.	n. d.
M6 J16-19 (GONW)	13 min.	4,8 min.
M6 J11A-16 (GONW)	27 min.	10 min.
(A74) : M6 Ext Carlisle – Guards Mill.	faible	faible.
M1 J6A (GOER)	2,5 min.	1 min.
M1 J 31 (GO-YH)	n. d.	0,8 min.
A1033 ; Hedon Road (GO-YH)	11 min.	4.4 min.
A 650 : Hard Ings Road	n. d.	n. d.
M25 : junctions 12-15 (GOSE)	2,9 min.	0,7 min.
M25 J.16 (M40) to J19 (A41)	5 min.	2 min.
A629 : Skipton to Kildwick	n. d.	n. d.
A43 : M40 J10 – B4031	14,6 min.	2 min.
A259 : Bexhill & western Hastings (GOSE)	21 min.	20 min.
A47 : Hardwick roundabout (GOER)	n. d.	n. d.

Source : DETR [1998]

Sur la base de ces données, on peut estimer les gains de temps moyens par projet à environ 8 minutes en heure de pointe et environ 5 minutes en interpointe. Dès lors, on serait tenté de dire que des gains de temps si faibles ont peu de chances de pouvoir être réutilisés de manière alternative par les agents économiques, et ne méritent pas d'être analysés.

Deux éléments amènent cependant à ne pas accepter telle quelle cette conclusion. D'une part, la nécessité pour l'analyse économique d'aboutir à **des résultats indépendants de la décomposition des projets étudiés**. Si l'on imposait un seuil minimal de gain de temps, on pourrait aboutir à des résultats d'analyse différents en étudiant un projet une fois dans sa totalité et, une autre fois, décomposé en plusieurs tranches. Cette propriété n'apparaît pas souhaitable. D'autre part, Fowkes [1996] montre que si l'on veut considérer que certains gains de temps de faible amplitude n'ont pas d'effet, il faut aussi considérer que d'autres gains de temps, de même amplitude, **peuvent parfois avoir des effets très importants** puisqu'ils permettent de passer un seuil. Si l'on combine ces deux effets, Fowkes montre qu'il est injustifié d'exclure de l'analyse les gains de temps de faible amplitude.

* *

*

De cette analyse introductive, on doit retenir deux aspects fondamentaux. Le temps dont parle la valeur du temps est une notion polysémique. Si l'on se concentre sur le temps comme "durée" on doit prendre en compte l'hétérogénéité de celles-ci et notamment une distinction cardinale entre les durées

³⁸ Non disponible.

consacrées au "*déplacement*" et les celles consacrées à toutes les opérations '*hors déplacement*'. Par ailleurs, l'amplitude des modifications de durées de déplacement qui sont susceptibles d'être étudiées par l'analyse économique est en général limitée à quelques minutes. Même si ce chiffre semble minime, il n'invalide pas une recherche sur la valeur de la réduction des durées de déplacement. A condition cependant de définir aussi ce que l'on entend par "valeur". Ceci est l'objet des développements qui suivent.

2.3 La valeur du temps : pour qui ? pourquoi ?

Deux difficultés au moins apparaissent. La première est liée à la multiplicité des agents qui sont parties prenantes à la prestation de transport, que ce soit du côté de l'offre ou de la demande. Si cette difficulté ne nous arrête pas, on peut ensuite passer à la définition de la "valeur" du temps.

La valeur du temps, pour qui ?

Deux questions se posent : l'une portant sur la méthode analytique à utiliser en présence d'une multitude d'agents ; l'autre sur les bénéficiaires finaux des gains de temps.

Une multitude d'acteurs

Le secteur des transports est soumis à une double évolution : d'une part, le développement de la sous-traitance qui tend à fragmenter les différentes composantes de la prestation de transport en une multitude d'interventions ; d'autre part, le développement de grands groupes, d'intégrateurs, qui mettent en place des chaînes de transport de plus en plus élaborées, ces deux évolutions n'étant d'ailleurs pas contradictoires, puisque les intégrateurs font eux-mêmes appel à la sous-traitance. C'est le cas des grands groupes de messagerie qui, lorsqu'ils sous traitent la traction, deviennent également des chargeurs. Michel Savy nous rappelle que 50 % de l'activité de messagerie donne lieu à sous-traitance du transport (Savy [2002]). Dans ce contexte, la notion même de chargeur perd de sa clarté et il faut s'en tenir à une définition stricte, par exemple celle fournie par l'AUTF (Association des Utilisateurs de Transport de Fret) : le chargeur est "*tout industriel, commerçant ou distributeur qui confie directement ou indirectement l'acheminement de ses marchandises à un transporteur, quels que soient le mode et le moyen utilisés*".

Cette évolution met à mal la possibilité de produire une formalisation économique rendant compte de la multitude des agents. Et nous ne nous sommes pas engagé dans cette voie. Du moins semble-t-il nécessaire de recenser les différentes parties prenantes impliquées par une prestation de transport de marchandises avant d'examiner comment l'analyste peut en rendre compte, sans lourdeur excessive, dans le traitement qu'il peut proposer.

La réalisation d'un transport de marchandises est rendue possible par la mise en œuvre, par les agents économiques, de certaines fonctions. Quelles sont donc les fonctions mises en œuvre pour la réalisation d'un transport de fret ³⁹?

Posséder les marchandises. Il faut, en premier lieu, qu'un agent économique possède une marchandise, et que lui ou un autre agent désire la transporter. L'agent qui exerce cette fonction peut être qualifié de **propriétaire**.

Transporter. Il faut également qu'un agent exécute le transport. Il s'agit en général de l'entreprise de transport, qui ne se réduit pas à l'ensemble formé par le véhicule et son conducteur, mais contient également l'organisation administrative qui permet de mettre ceux-ci en œuvre. On parlera alors de

³⁹ Sauf mention contraire, on se concentrera sur le transport pour compte d'autrui.

transporteur. Certains agents ont pour nature de n'exercer que cette fonction de transporteur. Mais, à l'inverse, cette fonction peut également être remplie par des entreprises de tout type (c'est le cas des transports en compte propre).

Expédier les marchandises. Pour que le transport ait lieu il faut qu'une entreprise mette à disposition des marchandises destinées à être acheminées. Lorsqu'un agent économique remplit cette fonction nous parlerons **d'expéditeur**.

Recevoir les marchandises. De manière symétrique à l'expéditeur, on parlera alors de **destinataire**.

Organiser le transport. Cette fonction n'est peut-être pas autonome, elle n'incombe pas à un agent particulier. L'expéditeur et le destinataire sont ainsi mis à contribution pour mettre à disposition ou recevoir les marchandises en temps et en heure. Le chargeur participe à l'organisation du déplacement ne serait-ce qu'en choisissant ses prestataires. Le transporteur joue un rôle actif dans l'organisation, par exemple en choisissant un plan de route.

Payer le transport. Le service de transport ne peut avoir lieu que si un agent économique paye cette prestation. L'agent qui exerce cette fonction peut être appelé **chargeur**.

Mettre à disposition une infrastructure. Cette fonction n'est pas toujours apparente (transport maritime) mais néanmoins nécessaire (mise à disposition de ports). On parlera alors de **fournisseur d'infrastructure**. Au sens strict, il faudrait distinguer l'agent qui met à disposition l'infrastructure et celui qui gère l'infrastructure (sociétés d'exploitation autoroutière par exemple). Sauf nécessité nous ne rentrerons pas dans cette distinction.

On pourrait ajouter d'autres éléments à cette liste. Il s'agirait, en outre, de distinguer ceux essentiels au service de transport (par exemple fournir le matériel roulant) et ceux qui lui sont annexes (par exemple la fourniture de prestations telles que l'étiquetage ou l'emballage). Mais, au-delà de la liste nominative des fonctions et des intervenants concernés par la mise en œuvre d'une opération de transport, le point important est de savoir comment intégrer toutes ces fonctions dans une représentation économique manipulable. A défaut il faut se demander quel risque d'erreur on commet si l'on simplifie la représentation de l'ensemble des acteurs en utilisant une formalisation basée sur un nombre restreint d'agents économiques.

Nous procéderons typiquement par une simplification en supposant un chargeur qui doit faire parvenir une marchandise à un destinataire et qui s'adresse à un transporteur⁴⁰. Le point important est que le fonctionnement du marché des transports peut refléter l'ensemble des interactions qui ont lieu entre les différents agents. Par exemple, les exigences du *destinataire* en termes de délais ou de qualité d'acheminement sont reflétées par la courbe de *demande du chargeur* : si le destinataire accorde de l'importance à une livraison rapide, le chargeur sera prêt à payer davantage pour avoir un transport rapide. De même, les possibilités de sous-traitance dont dispose un transporteur ou les possibilités d'économie de massification dont dispose un intégrateur sont reflétées dans leurs courbes d'offre. Ceci prévaut même en cas de comportement stratégique des agents, ou d'information imparfaite, puisque les courbes d'offre et de demande convenablement définies intègrent ces effets.

On ne considérera la multiplicité des intervenants impliqués dans le transport de marchandises que dans la mesure où cela est nécessaire pour comprendre la formation de l'équilibre sur le marché des transports et la manière dont cet équilibre dépend des durées de déplacement. Le risque en procédant de manière différente serait de se laisser paralyser par la multitude des relations entre intervenants et de perdre de vue les mécanismes les plus importants.

⁴⁰ Lorsque cela est nécessaire on supposera, en outre, que ce chargeur est aussi le producteur du bien à transporter et qu'il contrôle aussi sa logistique d'approvisionnement.

A qui profitent les gains de temps

La multitude des agents économiques impliqués dans la réalisation d'un envoi nous amène à une autre question : **qui profite d'une modification** des durées de transport ? Howe [1976] s'interrogeait pour savoir quelle valeur du temps était mesurée par les économistes : celle du véhicule, des occupants ou des biens transportés. Cette question rejoint le débat sur la prise en compte de la valeur du temps des "marchandises" en plus des réductions des coûts de déplacement. L'évolution entre le contenu du rapport dit Boiteux 1 et du rapport dit Boiteux 2 témoigne de l'actualité du sujet. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point dans le Chapitre 2 consacré à l'examen des pratiques actuelles d'évaluation.

Mais auparavant, il nous faut revenir sur la notion de "valeur", et préciser ce qu'elle recouvre.

De quelle valeur parle-t-on ?

L'analyse économique des réductions de durées de déplacement s'appuie sur plusieurs notions outre celle de valeur : coût du temps ; prix du temps ; consentement à payer ; coût d'opportunité. Si l'on s'en tient à la seule "valeur", on fait face à une diversité de termes encore plus marquée. Causse [1999] relève au moins 9 sens ou usages différents de la valeur du temps : "*valeur marginale d'une économie de temps*", "*valeur d'une économie de temps*", "*valeur du temps comme ressource*", "*valeur du temps pour l'employeur*", "*valeur tutélaire*", "*valeurs révélées*", "*valeur d'équité*", "*coût social d'opportunité*", "*valeur sociale*".

Il nous faut donc ici analyser le sens dans lequel l'analyse économique utilise le terme de valeur du temps. On peut tout d'abord se demander pourquoi on parle ici de valeur. Pourquoi l'économie a-t-elle retenu ce terme de valeur au détriment des termes de coûts, de prix ou encore de consentement à payer. Rappelons que la locution valeur du temps n'est pas récente. Etner [1987] rappelle que Doyat en 1846 calculait déjà la "valeur du temps" des voyageurs pour le motif affaires⁴¹.

Le terme valeur du temps est utilisé pour désigner au moins trois réalités liées mais distinctes

Valeur tutélaire, valeur révélée, valeur d'équité, valeur fondée sur la rareté, etc. On voit que le terme valeur n'est pas plus univoque que le terme "temps". On voit aussi d'emblée qu'en analysant la notion de valeur appliquée au temps on risque fort de mélanger trois problématiques liées mais distinctes :

- celle de **l'objet** : de quoi parle-t-on lorsque l'on parle de valeur du temps, de quelle manière la situation des agents économique est en soi affectée par une modification des durées de déplacement ?
- celle de **l'économie publique**, car au-delà de l'objet "valeur du temps", se pose la question de déterminer quelle valorisation doit retenir le calcul public,
- celle, enfin, de **la mesure** : par quelle méthode valoriser les durées, c'est ainsi que l'expression de valeur révélée s'attache davantage à la méthode qu'au contenu⁴².

Ces trois dimensions sont distinctes bien qu'intimement liées. Par exemple, dans le domaine des transports de voyageurs, il est courant d'opposer la valeur du temps définie par le consentement à payer pour un gain de temps, et la valeur tutélaire ; la première appartenant au domaine de la mesure, la deuxième à celui de la norme. On retrouve ici l'opposition entre, d'une part, la "Subjective Value of Time" (valeur du temps subjective) : "*montant qu'un individu est prêt à payer pour transférer du temps des déplacements vers des activités alternatives*" (Causse [1999]) qui appartient à la *mesure* et, d'autre part, le "Social Price of Time" (prix social du temps) : "*le montant que la société est disposée à dépenser*

⁴¹ Doyat prescrivait une valeur du temps estimée au revenu horaire.

⁴² Nous verrons bien entendu que le choix d'une méthode détermine le choix de l'étendue de l'objet que l'on pourra éclairer.

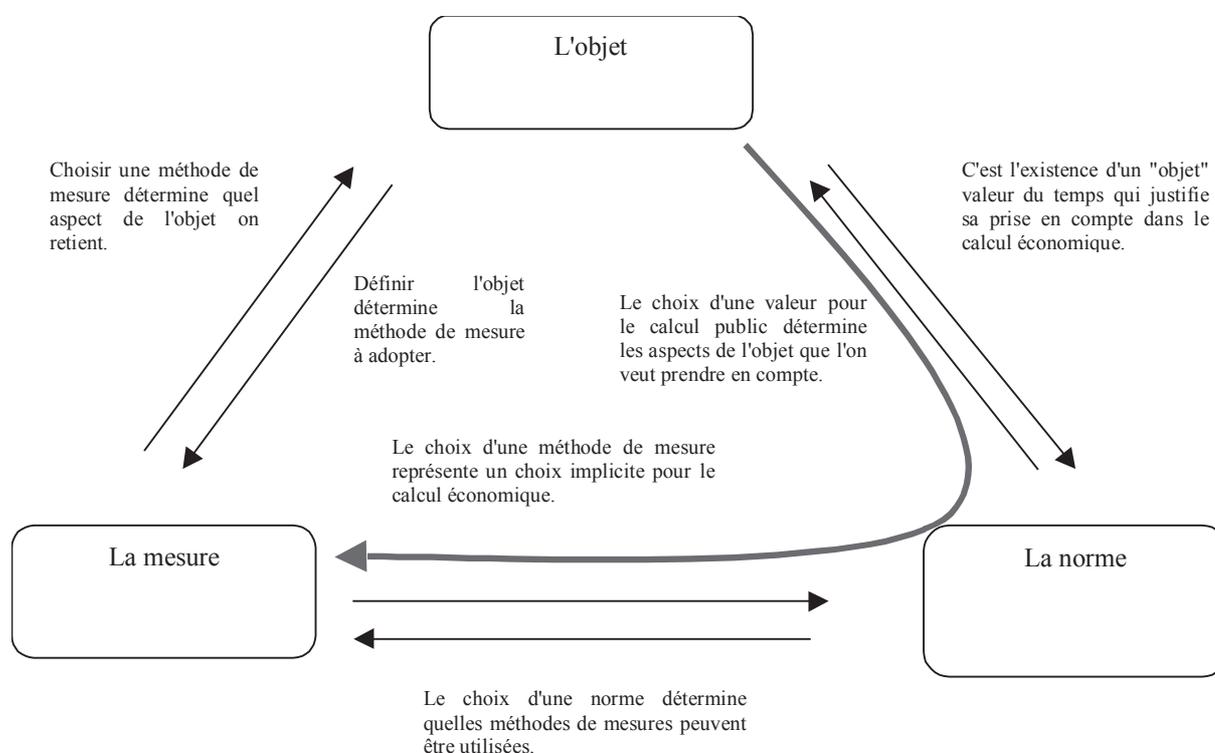
pour transférer le temps d'un de ses membres, des déplacements vers d'autres activités présumées plus productives^{xi}, qui relève de la norme.

Au-delà de leurs **différences, ces trois dimensions sont liées**. Par exemple, le lien entre les deux dernières dimensions de la valeur du temps, celle indicative, de la mesure, et celle normative, du calcul économique, est étroit puisque chaque définition de la valeur normative prescrit une méthodologie de mesure. Et, inversement, le choix en faveur d'une méthodologie de mesure détermine la partie de l'objet qui sera prise en compte dans les choix publics.

L'absence de distinction entre ces trois dimensions peut amener à des raccourcis. Par exemple, la notion de valeur révélée peut correspondre soit au choix d'une méthode de mesure, soit à une hypothèse d'économie normative, soit éventuellement les deux, mais il faut alors que cela soit explicité.

La Figure 6 ci-dessous établit les relations entre les trois dimensions de la valeur du temps, et montre comment ces différentes dimensions sont liées entre elles.

Figure 6 : trois dimensions de la valeur du temps



On suggère également qu'il existe un sens de détermination logique (mais non nécessairement chronologique) auquel doit se soumettre l'analyste, qui consiste à définir l'objet valeur du temps qu'il souhaite analyser, à identifier de quelle manière cet objet a sa place dans le calcul public et enfin à choisir une méthode de mesure.

Dans le cadre fourni par cette catégorisation, on peut alors établir des définitions et proposer des notations qui seront utilisées dans la suite de notre travail.

La valeur du temps comme objet

Il existe au moins deux manières de répondre à la question de ce qu'est *l'objet* valeur du temps. Soit on mobilise les différentes théories de la valeur développées dans l'histoire de la pensée économique. On retrouvera alors les oppositions bien connues entre valeur travail, valeur rareté, valeur d'usage, valeur d'échange. On pourra également se rattacher à des analyses plus récentes, exprimées en termes "d'analyse de la valeur". Une autre approche moins ambitieuse est de catégoriser les différents "objets" qui correspondent à l'effet d'une diminution des durées (minimales) de déplacement.

On introduit d'abord des **notations pour les durées** concernées par la transaction de transport. On note d la durée de déplacement. On suppose une situation où il existe un minimum sur une durée de déplacement utilisée par les transporteurs. Ce minimum est noté d_{min} . On suppose que ce minimum est contraignant pour les arbitrages du transporteur. En outre, ce minimum peut prendre des valeurs différentes. On considérera en général une valeur ex-ante d_{min} et une valeur ex-post d'_{min} . Le passage de d_{min} à d'_{min} est exogène, il est par exemple lié à une intervention sur une infrastructure. Les chargeurs font face à une durée de transport notée t . Les chargeurs ne seront contraints par le minimum qui existe sur les durées de *déplacement* que dans des situations exceptionnelles : dans le cas typique les durées de *transport* excèdent fortement les durées de *déplacement*, et donc la durée de transport t sera supérieure à la durée de déplacement d .

On peut alors à partir de ces définitions et de ces notations distinguer plusieurs *objets* valeurs du temps. Ces catégories se distinguent à la fois par le fait qu'elles soient individuelles ou agrégées, qu'elles correspondent à un "état du monde" ou à la différence entre deux "états du monde", qu'elles concernent des agents qui sont directement contraints par une durée minimale de déplacement ou bien ceux qui sont affectés indirectement. Les notions que l'on peut mettre en œuvre sont alors nombreuses. A titre illustratif : consentement à payer des chargeurs pour une diminution des durées de transport, diminution de coût de production en fonction des durées de transports minimales, consentement à payer des transporteurs pour un itinéraire plus rapide, modification du profit (à court terme, à long terme) des transporteurs.

Pour catégoriser ces différentes valeurs on peut distinguer :

- les "valeurs du temps" individuelles et les valeurs du temps agrégées.
- les "valeurs du temps" relatives à un état donné du réseau et celles liées à une modification de l'état du réseau.
- les "valeur du temps" des agents qui sont directement confrontés à une contrainte sur la durée de *déplacement*, ou "valeur du temps" pour des agents qui la subissent indirectement.
 - le transporteur peut faire face directement à une contrainte de durée de déplacement minimale.
 - le chargeur ne sera dans cette situation que dans des circonstances extrêmes ; il est en général contraint soit par une durée de transport minimale, soit par les coûts liés à la réduction des durées de *transport*. Il faudra donc distinguer deux situations : celle où le chargeur est contraint par d_{min} , celle où il fait face à un coût dépendant des durées de *transport*.

Les valeurs du temps peuvent aussi être classifiées selon la nature de l'agent concerné :

- transporteur,
- producteur d'un bien, chargeur,
- consommateur, si celui-ci peut indirectement recevoir les bénéfices d'une réduction de durées de déplacement (nous verrons comment). L'économie du bien-être s'intéresse *in fine* aux préférences des *personnes*, ce qui invite à rechercher de quelle manière des réductions d'une durée minimale de déplacement peuvent avoir des effets sur les consommateurs.
- On pourrait aussi ajouter les salariés. Hensher [1977] rappelle dans quelles conditions (limitatives) la diminution des durées de déplacement peut également profiter aux chauffeurs.

Si l'on croise l'ensemble de ces critères, on arrive rapidement à une combinatoire qui risque de faire perdre de vue les éléments les plus importants. C'est pourquoi on s'en tiendra à une liste limitative. On introduit quelques notations qui seront reprises par la suite.

En premier lieu on introduit des notions (et les notations correspondantes) qui concernent l'effet des diminutions de durées de déplacement (resp transport) pour les transporteurs (resp chargeurs).

On note $cd(d)^{43}$ le coût de *déplacement des transporteurs* en fonction des durées de *déplacement*⁴⁴. Si dans la situation que l'on étudie les durées de déplacement minimales sont contraignantes pour les transporteurs, alors une modification des durées minimales aura un effet leurs coûts. On peut noter $\delta cd(d_{\min})/\delta d$ les effets de d_{\min} sur les coûts de déplacement des transporteurs. C'est une mesure individuelle de la valeur du temps, basée sur la différence entre deux états du réseau. Elle correspond à l'approche utilisée par l'analyse coûts-avantages dans la plupart des pays (nous reviendrons sur ce point dans les chapitres suivants). Cette notion, si l'on veut la définir précisément, devra distinguer court terme et long terme.

On note $ct(t)$ le **coût de transport en fonction de la durée de transport**. Ce coût peut différer de $cd(d)$ pour deux raisons : les durées de transport ne sont pas les durées de déplacement, le temps passé dans les *opérations hors déplacement* génère également des coûts qui s'ajoutent aux coûts de *déplacement*.

On introduit également $ci(t)$, coût d'immobilisation des *chargeurs* en fonction des durées de *transport* et $\delta ci(t)/\delta t$ effets des durées de transports sur les coûts d'immobilisation des chargeurs. On retrouve ici la notion de coût d'immobilisation liée au fait que durant le transport, la marchandise n'est pas disponible, ou le coût lié à la perte de qualité des denrées périssables. On donnera un contenu plus précis à la notation $ci(t)$ dans le chapitre 2.

A ces notations, exprimées en termes de coûts, peuvent s'ajouter des notations en terme de **consentement à payer**.

cap_t consentement à payer des *transporteurs* pour un gain de temps de *déplacement*.

cap_e (Δt) consentement à payer des *chargeurs* pour une diminution des durées de *transport*.

On pourra également ajouter le **consentement à payer des consommateurs finaux** pour une diminution des durées de transport. Ce point nécessite d'être introduit de manière plus précise ce qui sera fait dans le chapitre 5.

Cette première série de définitions correspond à la conception la plus immédiate, mais aussi la plus restrictive, de l'objet "valeur du temps" : on y examine en effet de quelle manière les modifications de durées de *déplacement* ou de *transport* altèrent la situation économique des agents qu'elles affectent directement. Cette notion est en quelque sorte amputée, puisqu'elle néglige les effets secondaires de ces modifications. Par exemple, si le marché sur lequel opèrent les transporteurs ou les chargeurs est concurrentiel, les modifications des coûts de production pourront se répercuter en aval du système économique. Cette approche ouvre deux perspectives.

La première s'en tient à une approche en équilibre partiel dans laquelle l'objet valeur du temps n'est plus constitué par les effets des durées minimales sur les fonctions-objectifs des entreprises, mais par leurs effets indirects sur les consommateurs finaux. On retrouve alors les notions de **surplus marshallien** ou les **mesures hicksiennes** de variation équivalente ou compensatoire.

⁴³ Les notations utilisées de manière récurrente dans ce travail sont présentées dans un tableau en début d'ouvrage.

⁴⁴ En réalité le coût de déplacement ne dépend pas que de la durée. On considère, pour ne pas alourdir les notations, que l'ensemble de ces autres arguments sont fixés.

L'objet valeur du temps est alors :

- $\Delta CS(\Delta d_{\min})$: modification du surplus du consommateur lorsque les durées de déplacement sont modifiées.
- $VE(\Delta d_{\min})$: variation équivalente d'une modification des durées de déplacement minimales.
- $VC(\Delta d_{\min})$: variation compensatoire d'une modification des durées de déplacement minimales.

On conçoit la difficulté supplémentaire qu'implique cette conception de l'objet valeur du temps, et notamment l'importance des hypothèses formulées en matière de degré de concurrence sur le marché des transports. Du moins ce chemin a-t-il déjà été emprunté par nos prédécesseurs (Jara-Diaz [1986], Rouwendal [2001]), ce qui montre que cette voie, pour être escarpée, n'est peut-être pas sans issue.

La seconde, encore plus ambitieuse est de replacer les gains de temps dans une perspective **d'équilibre général**. En considérant de quelle manière les modifications des durées minimales peuvent avoir des effets sur les marchés autres que celui des biens transportés. L'objet "valeur du temps" sera alors, par exemple, la variation en volume de la production nationale⁴⁵ :

$$\sum_{i=1}^N x_i' \cdot p_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot p_i, \text{ avec}$$

i ,	indice du bien.
x_i ,	quantité du bien i consommée dans l'économie, lorsque les durées minimales sont d_{\min}
p_i ,	prix du bien i consommé dans l'économie, lorsque les durées minimales sont d_{\min}
x_i' ,	quantité de bien i consommée dans l'économie, lorsque les durées minimales sont d'_{\min}

On perçoit, ici aussi, la difficulté qu'il y aurait à fournir une mesure de cet objet, mais en même temps, ces deux dernières définitions sont plus cohérentes en ce qu'elles n'amputent pas le phénomène de ses ramifications dans l'ensemble du système économique. Ici aussi on trouve sur cette voie, ou sur des voies, somme toute, peu éloignées, des prédécesseurs, à l'exemple de Tinbergen [1957] et de Bos et Koyck [1961] qui, par une analyse d'équilibre comparé, étudient les effets d'une diminution des *coûts* de transport ou, plus récemment, Hussein [1996], ou encore, dans le domaine des transports de voyageurs, Broecker [2002] qui simule les effets d'une modification des infrastructures de transport dans un modèle d'équilibre général spatial calculé.

On pourrait à ce stade se demander si de telles notions appartiennent encore à la catégorie de la valeur du temps comme objet ou à celle de valeur du temps comme norme. Nous pensons qu'elles ressortissent à la première catégorie parce que, ce qui compte, ici, ce sont les effets de d_{\min} sur l'ensemble de l'économie. Ces effets existent donc indépendamment de la manière dont l'économie normative considère qu'ils doivent être intégrés dans l'analyse. Et la question de l'économie normative est une autre : un de ces objets est-il susceptible de fournir une mesure normative valable de politique publique.

Ceci nous amène directement à la question de la valeur du temps comme norme.

La valeur du temps comme norme

Causse [1999] distingue au moins quatre usages de l'expression "valeur du temps" qui correspondent à cette acception.

- Valeur tutélaire : "*valeur accordée par la collectivité publique dans l'évaluation des choix publics*".

⁴⁵ Une écriture qui pour des transformations marginales est conforme au critère de compensation de Hicks Kaldor (Quinet [1998], p. 206).

- Valeur d'équité : "*c'est une valeur du temps révélée, indépendante du revenu*".
- Coût social d'opportunité : "*égal à la valeur créée (en terme de ressources nationales) dans l'usage alternatif qui est fait du temps économisé*".
- Valeur sociale : "*valeur qui appréhende l'ensemble des implications d'une économie (ou perte) de temps de transport en terme de ressources communautaires consommées. C'est concrètement une mesure synthétique de la valeur révélée / d'équité et du coût social d'opportunité.*"

Le débat présent derrière ces différentes acceptions est de savoir comment la collectivité publique doit intégrer les préférences des individus ou des entreprises dans ses choix. En fait la question est double : existe-t-il un "objet" valeur du temps qui fournit une indication recevable pour guider les choix collectifs. Dans l'affirmative, il faut déterminer lequel. Dans la négative, s'il existe, dans les objets disponibles, des distorsions qu'il apparaît souhaitable de corriger, il faut déterminer de quelle manière cette correction peut être réalisée. Typiquement, dans le domaine des transports de voyageurs, une distorsion est créée par la décroissance de l'utilité marginale de la monnaie qui invite à corriger le consentement à payer élevé des catégories les plus aisées pour des gains de temps⁴⁶. On verra dans quelle mesure on peut se trouver face à un problème similaire pour le transport de marchandises⁴⁷. Cette question ne se confond pas avec celle de l'utilisation des transports comme outil de politique redistributive (Buchanan et Lewis [1981]). Une question est de savoir comment disposer d'outils d'évaluation qui soient nets de l'hétérogénéité de l'utilité marginale de la monnaie. Une autre est de savoir de quelle manière les politiques de transport devraient être plus favorables pour les catégories les plus défavorisées. Nous reviendrons sur ce point à la fin de ce travail.

Une ultime distinction s'impose à ce stade entre ce que l'on pourrait appeler la norme explicite telle qu'elle est formulée par le décideur public, et la norme implicite telle qu'elle influence effectivement les décisions. En d'autres termes, on a, d'une part, la valeur que le décideur attribue au temps dans ses décisions et qui pourrait être égal à la valeur que l'on trouve dans les circulaires, mais qui pourrait également ne pas l'être (Nellthorp [2001]) et, d'autre part, les valeurs qui, sur la base d'hypothèses explicitées de "Welfare Economics" sont aptes à fournir une indication recevable sur l'opportunité de réaliser une intervention. On pourra distinguer, si nécessaire, la Fonction-Objectif Publique, qui guide le décideur dans ses choix publics, et une fonction de Welfare explicitée,

- Variation de la fonction-objectif du décideur public pour une réduction des durées de transport. $\delta FOP / \delta d_{\min}$
- Variation d'une fonction d'utilité collective du fait d'une réduction des durées minimales de transport. $\delta W / \delta d_{\min}$

La valeur du temps comme mesure

Nous ne nous attarderons pas ici sur le troisième sens de la valeur du temps : la méthode de mesure. Le plus important, à ce stade, est de montrer la diversité des valeurs du temps, que ce soit comme *objet* ou comme *norme* ; d'indiquer quels "*objets*" doivent plus particulièrement être étudiés. Les méthodes de *mesure* posent des problèmes d'un autre ordre, qui seront à leur tour exposés dans les chapitres 3 et 4.

⁴⁶ La croissance de la valeur du temps des voyageurs en fonction des revenus est toutefois contestée par certaines applications empiriques (Bates, [1983], [1984]).

⁴⁷ On peut en fournir dès maintenant une illustration pré analytique concernant le transport de langoustines entre le nord de l'Ecosse et l'Espagne. Deux filières de transport existent l'une rapide permet d'acheminer les langoustines vivantes, l'autre lente ne permet pas d'offrir la même fraîcheur du produit. Bien entendu, le consentement à payer des mareyeurs pour le mode express de livraison des marchandises reflète la valeur supérieure du bien sur le marché espagnol. Il reflète aussi le niveau différent de revenu entre les consommateurs qui peuvent s'offrir des langoustines vivantes et les autres. Dès lors, la valorisation des gains de temps reflète la répartition des revenus parmi les consommateurs finaux.

En conclusion on doit, dès à présent, souligner la diversité des usages du terme valeur du temps, principalement en fonction de :

- son caractère descriptif ou normatif,
- son caractère individuel ou collectif,
- du fait qu'elle soit associée à un état donné du réseau (un "état du monde") ou qu'elle corresponde à la différence entre des états différents du réseau (deux "états du monde"),
- de la nature des agents qu'elle concerne : entreprises ou personnes.

Les différentes notions et notations que nous avons introduites nous paraissent aptes à nous fournir des instruments pour analyser les effets d'une diminution des durées de déplacement ou de transport. Du moins faut-il considérer, pour les mettre en œuvre, que gagner du temps sert à quelque chose. N'y a-t-il pas des situations où gagner du temps ne sert à rien ? C'est ce point qu'il nous faut maintenant élucider.

3 Gagner du temps ne sert à rien ?

Le premier problème est de savoir si gagner du temps a systématiquement une valeur. N'est-il pas des situations où les chargeurs ou les transporteurs n'ont pas intérêt à gagner de temps ?

Cette interrogation connaît une formulation radicale, dans les situations où le **décideur public considère qu'il n'est pas souhaitable de faire gagner du temps**. Ce dernier point nous interroge. Un nombre important de politiques de transport, du moins pour le transport urbain dans les villes d'Europe, s'accommodent d'une augmentation des durées de transport. Le projet BESTUFS (BEST Urban Freight Solutions, BESTUFS [2001]) donne ainsi l'exemple de Brême qui impose des itinéraires spéciaux pour les transports de marchandises ce qui allonge les durées de déplacement des transporteurs. Tandis que d'autres villes imposent des contraintes temporelles (Bruxelles, Madrid, Zurich : plages horaires réservées). De manière plus générale, la congestion, et les pertes de temps qui y sont liées, ne sont pas vues comme un élément négatif. Soit que le niveau optimal de fourniture d'infrastructure implique un certain niveau de congestion (Prud'homme [2000], Romilly [2003]), soit que les durées perdues en attente constituent un moyen de régulation moins coûteux que les moyens alternatifs : *"La congestion n'est nécessairement inefficace, les files d'attente exercent une fonction efficace lorsque l'augmentation de l'offre ou d'autres méthodes d'allocation des ressources, telles que la tarification de la congestion, ne sont pas praticables ou ont des coûts supérieurs à ceux impliqués par les files d'attente"*^{xii}, ainsi que le suggère Sheldon ; soit, encore, que la congestion soit perçue comme le coût à payer pour obtenir des avantages jugés plus souhaitables (report modal, baisse de l'utilisation des véhicules).

Dans ces situations le décideur public trouve souhaitable ou acceptable que les durées de transport ne soient pas minimales.

Ce point nous informe sur la valeur du temps dans les fonctions-objectifs explicites des "planificateurs". Mais il ne renseigne pas sur la manière dont les préférences des agents économiques peuvent être affectées par des modifications des durées minimales de déplacement. L'analyse de la valeur du temps doit séparer les deux étapes : en premier lieu l'analyse de l'objet, en second lieu la réflexion sur la manière dont le décideur doit ou non attribuer une valeur à ces modifications dans ses arbitrages. Enfin, les politiques de transport qui s'accommodent de la congestion ou qui la favorisent n'impliquent pas l'inexistence d'une valeur du temps, mais simplement que la valeur du temps gagné (ou perdu) doit être mise en perspective par rapport à d'autres avantages liés à l'augmentation de la congestion.

Cette réserve faite, on peut revenir à la valeur du temps comme objet, et se demander pour quelles raisons gagner du temps pourrait parfois ne servir à rien. Les spécificités de l'activité marchandises, renforcées par des évolutions récentes tendent en effet à modifier la place des durées de transport dans la hiérarchie des services demandés par les chargeurs. Nous pensons toutefois que ceci ne remet pas en cause la pertinence d'une valorisation des gains de temps.

Considérons tout d'abord la forme la plus radicale de cette affirmation, c'est-à-dire les situations où gagner du temps ne servirait à rien.

3.1 Parfois diminuer le temps de déplacement ne sert à rien

Le transport comme stockage mobile

La première interrogation s'impose avec une apparente naïveté : est-il nécessaire de gagner du temps ? Winston [1981 p. 991] avançait ainsi : *“en général, on s'attendrait à ce qu'il (le coefficient du temps dans l'utilité indirecte) soit négatif, cependant pour un petit nombre de types de produits il pourrait aussi être positif. La raison fondamentale en est qu'un mode de transport peut avoir le même rôle qu'un entrepôt, bien qu'il s'agisse d'un entrepôt mobile. Donc, pour les biens dont les besoins en stockage pourraient amener à des dépenses considérables, de longues durées de parcours pourraient être intéressantes^{xiii}.”* C'est ainsi que la SNCF "avoue" que ses durées de déplacement ne sont pas toujours minimisées. Notamment en ce qui concerne le transport de véhicules automobiles, pour lesquels le stationnement de certaines rames permet de réguler le stock de véhicules livrés aux concessionnaires. Outre de telles situations, dans lesquelles le chargeur n'a pas intérêt à une baisse des durées de transport, il peut apparaître des conflits entre chargeur et transporteur. Il nous a ainsi été cité au cours d'un séminaire le cas des bateliers du Rhin qui prolongeaient parfois la durée de transport des marchandises pour profiter de la hausse des cours des céréales.

L'existence de situations apparemment atypiques dans lesquelles les agents ne cherchent pas à gagner du temps est probablement plus prégnante en transport de marchandises qu'en transport de voyageurs. Il semble toutefois difficile de donner à cette affirmation un caractère général.

C'est alors peut-être ailleurs qu'il faut alors chercher les raisons qui remettent en cause le rôle des gains de temps. Deux phénomènes particuliers peuvent ici être évoqués. Tout d'abord les nombreux délais de chargement / déchargement et autres opérations logistiques qui peuvent réduire à néant les gains de temps réalisés lors du déplacement. Ensuite l'existence de discontinuités dans le cycle temporel des opérations logistiques. Qu'en est-il plus précisément ?

Gagner du temps pour le perdre ensuite

Il existe de nombreuses phases d'attente dans les opérations de transport. En **particulier** les durées de chargement et de déchargement sont importantes. Elles pourraient alors réduire l'intérêt des gains de temps sur le trajet. Selon les données de la Fédération Nationale des Transports Routiers, un chauffeur de P.L. passe 67 % de son temps rémunéré en conduite, le reste étant du temps à disposition en majorité utilisé pour les opérations de chargement déchargement (FNTR [non daté]).

Typiquement deux difficultés apparaissent :

- l'importance des durées d'attente lors des opérations de chargement et de déchargement : 2h. en moyenne au chargement et au déchargement.
- l'importance persistante des durées de passage des frontières dans de nombreux échanges internationaux.

Sur le premier point, une étude réalisée en Italie par le Freight Leader Club [2000] permet d'évaluer des durées d'attente au chargement et au déchargement lors de la livraison dans les hypermarchés.

Tableau 7 : attente au déchargement pour les hypermarchés

Duré d'attente	Part des livraisons
De 15 à 16 min	25,6 %
De 60 à 105 min	23,3 %
De 105 à 150 min	25,6 %
De 150 à 195 min	16,3 %
De 195 min à 240 min	1,2 %
De 240 à 280 min	4,7 %

Source : (FLC [2000]).

Les durées moyennes de déchargement s'établissent à 108 min. La situation est moins favorable pour d'autres types de destinataires, ainsi des centres de distribution pour lesquels la moyenne est de l'ordre de 190 min, et 30 % des déchargements effectués avec plus de quatre heures d'attente.

Ces durées ne sont pas négligeables ; elles excèdent les gains de temps que sont susceptibles de permettre des investissements routiers. De plus, Quarmby [1989, p. 77] ajoute qu'il faut distinguer les durées pendant lesquelles le véhicule est "en attente" et les durées pendant lesquelles les marchandises le sont. Il est probable que les secondes soient plus importantes que les premières en raison des durées de stockage qui imposent une attente aux marchandises mais non aux véhicules. On pourrait en déduire qu'il ne sert à rien de gagner du temps sur la route si ce temps doit être perdu à l'entrepôt.

Sans une analyse plus précise, il est difficile de se prononcer sur ce point, et la $\delta\alpha$ nous pousserait aussi bien à affirmer : "gagner du temps lors du déplacement ne sert à rien puisque de toute manière, ce temps est perdu dans les autres opérations de transport" ou son inverse "on perd beaucoup de temps dans les opérations hors déplacement, ce qui rend d'autant plus critique d'en gagner lors du déplacement". On verra dans le chapitre 6, que pour faire le départ entre ces deux affirmations, il est nécessaire de comparer les dérivées secondes des fonctions de coût et de recettes des transporteurs.

Un temps discontinu

Les préférences des demandeurs ne sont ni *monotones* ni *continues*. Elles ne sont pas monotones car il peut être pénalisant de recevoir des marchandises avant une certaine date ou heure car il faut les stocker. Elles ne sont pas continues, par exemple en raison de l'existence de "fenêtres", ou encore du rythme circadien de l'activité économique.

La Figure 7 représente par exemple la répartition du nombre d'heures d'ouverture (par jour) des centres de distribution pour des biens de consommation courante⁴⁸ en Italie.

⁴⁸ Plus précisément horaire d'ouverture des supermarchés, grands magasins, grossistes pour les produits de droguerie, d'hygiène et alimentaires secs. Données élaborées sur 1.306 centres de réception des marchandises.

permettent une bonne synchronisation : par exemple si elles permettent au transporteur de prendre la marchandise le soir à la sortie de l'usine A et de l'apporter le matin à l'entrée de l'usine B) mais nous n'avons pas d'éléments qui permette d'estimer l'ampleur de ce type de situation. En l'absence de ces éléments, il est donc plus raisonnable de se placer dans le cas général où une seule des extrémités du déplacement est contrainte.

Peut-on réutiliser les gains de temps ?

Une autre interrogation est formulée (entre autres) par le CERTU [2003] qui s'interroge sur la manière dont les diminutions des durées de transport peuvent effectivement présenter un d'intérêt pour les *transporteurs*. Le point critique est ici de savoir si la durée ainsi libérée peut être "réutilisée" ou peut éventuellement être "économisée", sur le coût du couple chauffeur-véhicule.

Sur ce point, l'élément déterminant est de savoir de quelle nature sont les modifications des durées de déplacement que l'on souhaite analyser. Si l'on s'intéresse à une réduction non prévue de ces durées (par exemple en cas de variabilité des durées de parcours ou d'information imparfaite), la question se pose d'une certaine manière, mais si, et c'est notre sujet, on suppose qu'est modifiée une durée minimale de déplacement, déterministe et connue des agents économiques, la question est toute autre.

(i) la prestation de transport a deux extrémités : si parfois le transporteur ne peut pas réutiliser le temps à destination, il est moins fréquent qu'il ne puisse pas non plus réutiliser le temps libéré à l'origine par un départ plus tardif,

(ii) l'activité des transporteurs est moins marquée par la discontinuité entre le jour et la nuit, que l'activité des chargeurs ; elle a donc une caractéristique marquée de continuité (jour et nuit) et d'intensité dans l'utilisation des facteurs⁴⁹ (peu de temps morts, les temps consacrés aux opérations hors déplacement ne sont pas des temps improductifs). Les moyens de production sont en général dimensionnés au plus juste, et le personnel est fortement sollicité⁵⁰. Il est donc peu probable qu'une durée libérée ne puisse pas être affectée à une activité productive.

(iii) La modification de la durée minimale affecte l'ensemble des contraintes de durées qui s'imposent au transporteur en le remplaçant par un autre ensemble. Le vecteur de durées minimales, $(d_{\min}^1, \dots, d_{\min}^{\ell}, \dots, d_{\min}^L)$ où d_{\min}^{ℓ} est la durée minimale de déplacement sur le tronçon ℓ , est remplacé par $(d_{\min}^1, \dots, d_{\min}^{\ell'}, \dots, d_{\min}^L)$. Il est possible que la situation optimale du transporteur contienne des "durées inutilisées" dans la situation *ex-post* comme dans la situation *ex-ante*. Il est par contre beaucoup plus difficile de montrer que le passage de d_{\min}^{ℓ} à $d_{\min}^{\ell'}$ tende à augmenter l'amplitude de ces "temps perdus". A l'inverse, en l'absence d'éléments probants dans le sens contraire, on est fondé à penser que la granulométrie des durées élémentaires étant réduite, la taille des "temps morts" tendrait plutôt à diminuer.

(iv) Enfin on peut argumenter que l'approche par la réduction des coûts, ne "capture" pas l'ensemble des effets dont bénéficie le transporteur. Ainsi lorsque le temps gagné peut être réutilisé, le transporteur bénéficie non seulement d'une baisse des coûts pour l'opération courante, mais également de la profitabilité de l'opération suivante, ... ou de celle précédente⁵¹.

⁴⁹ Les durées consacrées à des opérations autres que le déplacement ne sont pas des temps morts. Par exemple les durées de chargement et de déchargement coûtent au transporteur.

⁵⁰ "Le temps de service hebdomadaire (des conducteurs de transport routier de marchandises) est d'environ 46 heures pour une semaine de 5 jours et plus". (S.E.S [2005])

⁵¹ Même dans une approche strictement marginaliste, il se peut que l'heure supplémentaire de camion ou de chauffeur ait une profitabilité non nulle, car cette heure ne coïncide pas nécessairement avec l'heure marginale sur laquelle la firme égalise son coût marginal et sa recette marginale.

La thématique de la réutilisation (ou de la non-réutilisation) des gains de temps, tient une place importante dans la littérature consacrée à la valeur du temps. Howe [1976] y consacre des développements détaillés, tandis que Hensher [1977] propose une méthode de valorisation des gains de temps des voyageurs pour motif affaires compatible avec une réutilisation partielle des gains de temps; C'est une voie que l'on peut suivre. Une autre est de souligner que cette problématique perd de sa pertinence lorsque l'on s'intéresse à des modifications de durées de type déterministes et que l'on raisonne en information parfaite. Certes, la pertinence de ces hypothèses est discutable par rapport au monde réel, mais, si l'on souhaite introduire des hypothèses plus réalistes sur ce point, on doit s'assurer que l'on distingue ce qui ressortit de l'analyse de la valeur du temps dans un contexte d'incertitude et ce qui relève de la valeur de l'incertitude elle-même.

Gagner du temps ne sert à rien, ce qu'il faut c'est être à l'heure

Un autre élément qui tend à relativiser l'importance des gains de temps repose sur la hiérarchisation des attentes des chargeurs.

On constate, tout d'abord, **l'importance croissante accordée à la fiabilité** des durées de transport. Seidenfus [1985]⁵² analyse l'évolution de la demande des chargeurs en Europe. L'importance du prix régresse de la première ou seconde place pour les études réalisées entre 1959 et 1972 à la quatrième ou sixième place pour les études réalisées après 1983. Tandis que la ponctualité et la vitesse restaient à un rang identique, les services au client (sous ce terme sont regroupés les services annexes au transport) et la sécurité ont vu leur importance augmenter. La conclusion générale de cette étude était une moindre importance attachée au prix et une importance croissante attachée à la qualité de service.

Certains résultats plus récents confortent cette tendance et permettent, en outre, de hiérarchiser les attentes des chargeurs. Dans une étude menée en Suisse la fiabilité des délais de livraison a été valorisée : lorsque *“1 % de plus des livraisons sont effectuées avec ponctualité, les expéditeurs sont prêts à payer 2,40 CHF⁵³ par tonne”* (Bolis et Maggi [1999]). La hiérarchisation des différents services offerts par les transporteurs est présentée Tableau 8.

Tableau 8 : valeur implicite des différentes dimensions temporelles de l'envoi de marchandise (francs suisses)

	FTL ⁵⁴ avec limite de 28 t. (15 t. de Charge)	FTL avec limite 40 t
1 heure de moins de temps	17,2	31,1
1 % de fiabilité en plus	36,3	65,3
1 heure de moins de temps de préavis	5,5	9,9
1 envoi de plus par mois	16,5	29,7

Source : Maggi et Bolis [1999]

Un "survey" plus récent permet de mieux situer l'exigence de durée par rapport à d'autres exigences. (De Maeyer et Pauwels [2003]). La principale conclusion que l'on peut tirer de leur analyse est peut-être qu'il n'y a pas de hiérarchie fixe. La fiabilité y apparaît 4 fois sur 6 supérieure aux variables de vitesse ou de durée, mais pour autant cette dernière reste un attribut important. Kreutzberger [à paraître] cite Beuthe et alii [2003] et Vandaele et Witlox [2003] qui trouvent que l'importance accordée par les transporteurs à la durée n'est pas inférieure à celle accordée à la fiabilité.

De manière générale, **la demande accrue de fiabilité n'est pas contradictoire avec une demande de rapidité**. Il semble même qu'elles soient complémentaires. C'est ce que suggère cette dernière étude

⁵² Cité par Viera [1992].

⁵³ Francs Suisses.

⁵⁴ Full Truck Load (camion entier).

(Kreutzberger [à paraître]). Les entreprises ayant adopté un processus de production juste-à-temps, ou livrant des sociétés qui ont fait ce choix ont certes une valeur de la fiabilité “huit fois supérieure” aux autres entreprises, elles ont également “une valeur du temps deux fois plus importante que les autres”, suggérant ainsi que, dans le nouvel ordre de priorité généré par les évolutions des systèmes logistiques, la valeur de la ponctualité s’accroisse, non pas au détriment de la valeur du temps, mais de concert avec celle-ci.

Ceci est vrai du côté de la demande mais pourrait également l’être du côté de l’offre où on remarque une **corrélation entre gains de temps et gains de fiabilité**.

En ce qui concerne les infrastructures tout d’abord : on constate que sur une infrastructure routière donnée les régimes de circulation qui offrent les durées les plus brèves correspondent également aux durées les plus fiables. Ainsi que l’analyse Zerguini [à paraître] en compilant, selon les heures de la journée, les données sur la durée de parcours d’une section autoroutière en Ile-de-France, la durée nécessaire pour franchir une section est fortement corrélée à sa variance. Cela reproduit l’intuition selon laquelle la variabilité est une fonction croissante des densités observées. Cela peut s’expliquer, entre autres, par le fait que, lorsque les densités sont élevées, une éventuelle perturbation peut impacter, par le jeu des interactions entre véhicules, le flux de mobiles de manière plus marquée que dans la situation peu dense. Cette observation, réalisée de manière statique, c’est-à-dire à infrastructure donnée, semble pouvoir être transposée aux modifications d’infrastructure. On aurait alors typiquement des projets d’infrastructure qui modifieraient conjointement la vitesse et la fiabilité⁵⁵.

Globalement l’existence de gains de fiabilité, si elle **amène à remettre en cause les méthodes d’évaluation actuellement utilisées**, ne réduit pas la pertinence d’une interrogation sur les durées de transport.

Qu’en est-il alors des autres évolutions en cours des "supply chain" (chaînes d’approvisionnement) qui, outre l’importance de la fiabilité, pourraient modifier le rapport au temps des chargeurs.

3.2 Quelles évolutions du système logistique ?

De quelles manières les évolutions en cours des systèmes logistiques peuvent-elles modifier la pertinence de la notion de valeur du temps. Savy [2002] décrit les grandes tendances de l’évolution des systèmes logistiques :

- *"la diminution de la taille moyenne des lots transportés du fait de la suppression des stocks tampons et de la diffusion des méthodes de gestion par flux tendus,*
- *le raccourcissement des délais d’acheminement désirés, la disponibilité des produits étant un aspect primordial de la qualité de service qui leur est attachée et qui contribua à leur compétitivité commerciale,*
- *la flexibilité du processus de transport , pour faire face à l’instabilité et l’imprévisibilité des marchés et en tirer parti,*
- *une fiabilité accrue en dépit de la flexibilité,*
- *la desserte d’aires de marchés de plus en plus larges, tant pour les approvisionnements que pour la distribution, à une échelle transfrontalière européenne ou mondiale*
- *la disponibilité de solutions de transport multiples sous l’égide d’un seul opérateur, associant le transport de lots de grande et petite taille, l’utilisation et la combinaison des divers modes,*
- *l’adjonction au transport d’opérations logistiques de plus en plus nombreuses, parmi lesquelles l’entreposage, la manutention, l’emballage, la gestion des stocks, voire la finition manufacturière des produits ou leur maintenance,*

⁵⁵ On serait tenté d’étendre ce constat aux opérateurs : ceux qui offrent les durées les plus brèves sont aussi ceux qui offrent la plus grande fiabilité. Mais ce point devrait être confirmé par des observations.

- *l'insertion des opérations logistiques adaptées au développement du e-commerce,*
- *l'utilisation intense des NTIC⁵⁶."*

Ces tendances, plus que de dicter une évolution de la valeur du temps, en sont en partie le fruit. Comme si des éléments extérieurs à la seule logique de transport étaient moteurs en la matière et imposaient au système de transport de s'adapter. Soit que ces éléments caractérisent la demande qui s'adresse aux chargeurs, soit qu'ils proviennent d'exigences de production ou de gestion des stocks que les chargeurs s'imposent pour minimiser leurs coûts. Typiquement, la nécessité de diminuer les stocks s'explique, aussi, par l'attention aux coûts d'immobilisation des marchandises ; cette attention est elle-même à la source de la valorisation par les chargeurs d'une réduction des durées de transport. De ce fait, certaines évolutions qui paraîtraient plutôt indiquer une perte d'importance des durées de transport, se comprennent différemment si on les replace dans ce contexte d'évolution générale des sollicitations externes qui s'imposent au système logistique : typiquement la diminution de la taille des envois, si elle tend à réduire à proportion l'importance des gains de temps pour le chargeur (ou le destinataire), est aussi le signe d'exigences accrues en matière de délais. La baisse des tonnages moyens doit, en outre, être mise en regard de la valeur unitaire plus élevée des biens transportés, qui elle aussi tend à renforcer l'importance de délais de transport les plus brefs possibles.

Ces éléments suggèrent qu'il est vain de vouloir rechercher les effets des évolutions en cours du système logistique sur la valorisation que les chargeurs, ou les transporteurs, attribuent aux réductions des durées de transports, puisque la causalité est autant, si ce n'est plus, dans l'autre sens.

Le second aspect est que, dans l'ensemble, ces tendances semblent pousser le système logistique à fonctionner de manière plus tendue, plus proche de ses limites, plus sensible à d'éventuels dérèglements. Cela nous ramène à la question de la fiabilité.

Le lien entre valeur du temps pour les chargeurs ou les transporteurs, et les évolutions en cours du système logistique, doit rester présent tout le long de notre travail. On analysera, dans le chapitre 6, les forces qui poussent à ces évolutions, en distinguant notamment les éléments qui proviennent de la demande, ceux qui proviennent des coûts de production et de logistique des chargeurs, et enfin ceux qui proviennent des transporteurs eux-mêmes.

Au final, on constate que les situations dans lesquelles gagner du temps ne sert à rien apparaissent moins nombreuses que celles que l'on pourrait imaginer en première analyse. De plus, les évolutions en cours des systèmes logistiques, si elles nous amènent à replacer les durées de transport au sein d'une hiérarchie d'attentes des chargeurs, ne semblent pas remettre en cause la pertinence des gains de temps pour les chargeurs et les transporteurs. Avant de conclure sur la pertinence de la valeur du temps, il nous faut examiner une ultime question qui porte sur le caractère éventuellement trop réducteur de cette notion.

4 Il n'y a pas une valeur du temps mais des valeurs du temps

La critique ultérieure adressée à la notion de valeur du temps s'oriente suivant deux axes : le premier souligne la multiplicité des effets d'un gain de temps, et remet en cause la capacité de l'analyste à représenter par un indicateur unique l'ensemble de ces effets ; le second souligne le caractère de "moyenne" de la VTTS⁵⁷ inapte à rendre compte de la diversité des situations. Dans la première critique, on parle de complexité des effets, dans la seconde d'hétérogénéité des situations.

⁵⁶ Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.

⁵⁷ Value of Travel Time Savings.

4.1 Un gain de temps a des effets trop complexes pour qu'on puisse le valoriser par un chiffre unique

Les effets d'une baisse des durées de transports sont nombreux. Les plus directs résultent de l'effet des durées sur les coûts. *“Tel transporteur du Finistère estime que le plan routier breton et l'autoroute Paris - La Gravelle ont entraîné une baisse du prix de transport de l'ordre de 15F par tonne, soit une économie d'environ 10 % et surtout considérablement élargi la zone de livraison des produits régionaux en permettant aux denrées périssables d'atteindre dans des délais satisfaisants une clientèle plus éloignée. Les aménagements routiers ont donc largement contribué dans ce cas à l'augmentation du champ d'activité de la profession et à l'accroissement de sa productivité.”* (Ministère de l'Équipement [1988]). A ces effets, qui sont déjà difficiles à estimer s'ajoutent des effets indirects qui sont difficilement quantifiables : effets de la baisse des prix du produit (substitution entre biens, effets revenus), possibilité d'améliorer les qualités temporelles du bien (typiquement si l'on considère qu'on peut rendre certains biens disponibles plus tôt), ainsi que la réorganisation des processus de production et de distribution des entreprises. Illustrons plus précisément ce dernier point.

La possibilité pour les producteurs de réorganiser leur processus de production pour tirer profit d'une baisse des temps de transport est un élément connu en économie des transports. Aschauer [1982], Allen et alii [1994], F.D.F. Management [1994], Quarmby [1989], soulignent que les procédures usuelles d'analyse coûts-avantages négligent les effets des gains de temps sur l'organisation de la production et de la distribution. Or ce pourrait être là un élément important.

En 1969, Mohring et Williamson soulignaient déjà que le développement de l'American Inter State Highway a induit d'importants bénéfices de “réorganisation”. Plus récemment, Mackie et Tweddle [1993] soulignent les bénéfices indirects qui résultent de la réorganisation et de la restructuration, ce que la littérature anglo-saxonne désigne sous le terme de *“warehouses' consolidation”* (consolidation des dépôts) : *“d'autres effets bénéfiques sont également obtenus en raison de la réaffectation des clients entre dépôts, la relocalisation des dépôts ou la modification du nombre des dépôts.”*

On conçoit donc la difficulté à vouloir rassembler dans un chiffre unique les effets en chaîne d'une baisse des durées de transport, qui n'ont été illustrés ici que par les effets sur l'organisation logistique des producteurs⁵⁸.

4.2 La valeur du temps, une moyenne ?

Le second axe de cette critique concerne le caractère trop moyenné de la valeur du temps. La notion de valeur du temps supposerait que l'on soit capable de rassembler dans un indicateur unique, une diversité de situations d'entreprises.

Fowkes [a] présente des résultats sur la dispersion de la valeur du temps des chargeurs médiane : 33 £/heure, premier quartile : 9 £/heure, troisième quartile : 108 £/heure (enquête réalisée sur le transport trans-Manche avant l'ouverture du tunnel). Les causes de la variabilité, ainsi illustrée, sont à rechercher selon plusieurs axes : elle est ainsi régionale, sectorielle et encore interindividuelle⁵⁹. Au-delà même des différences entre individus (entreprises) ou groupes d'individus (d'entreprises) on observera des différences entre deux envois réalisés par le même individu (ou la même entreprise).

A l'intérieur même d'un pays, la valeur du temps peut varier de manière **significative selon les régions**. Bergkvist et Westin [1996] montrent ainsi que *“les régions faiblement peuplées du nord (de la*

⁵⁸ Une autre difficulté est que lorsqu'une modification d'infrastructure affecte à la fois la durée et la distance de déplacement il n'est pas possible, sauf hypothèse restrictive de faire la séparation entre les effets dus à la baisse des durées et les effets dus à la baisse des distances.

⁵⁹ On retiendra le terme individu, au sens d'une unité d'observation, même s'il s'agit d'une entreprise.

Suède) ayant des flux de marchandises importants tendent à avoir de plus fortes valeurs du temps pour le transport de marchandises en comparaison de régions plus densément peuplées et des flux de marchandises relativement réduits” et, conséquence sur l’évaluation des projets : “il a été alors avancé que si tel est effectivement le cas, les analyses coûts-bénéfices pratiquées aujourd’hui traitent ces régions de manière inéquitable et amènent à des décisions fondées sur des données erronées”.

Au-delà de ces disparités régionales, c’est essentiellement la variation "unitaire" (c'est-à-dire d'un envoi à l'autre) ou inter-individuelle (c'est-à-dire entre entreprises) de la valeur des gains de temps qui retient l’attention. La valeur peut ainsi varier, selon **le type de marchandises ou les secteurs**. Fowkes [a] fournit ainsi une estimation de la valeur du temps par produit pour les différents types de bien (Exercice de SP auprès des chargeurs, choix entre la route et le transport intermodal, transport pour compte d'autrui).

Tableau 9 : valeur du temps par catégorie de biens

	£ 1995/heure.véh.
Engrais	1,3
Ciment	4,0
Appareils domestiques	3,2
Chocolat	6,5
Brasserie	7,7
Lubrifiants et carburants	7,5
Tubes d'acier	13
Papier et pulpe à papier	15

Source : Fowkes [a]

A la diversité selon les secteurs des entreprises, s'ajoute celle selon les **caractéristiques des envois**, c'est-à-dire, par exemple, en fonction de leur taille. Dejou, cité par Savy [2002], proposait de distinguer plusieurs segments du marché des transports de marchandises selon le poids : 0 à 3 kg, courrier ou petit colis ; 3 à 30 kg qui correspondent à la messagerie du paquet ; jusqu'à 300 kg messagerie traditionnelle et messagerie lourde ; de 300kg à 3 tonnes domaine du groupage, enfin, au-delà on est dans le domaine du transport par lots complets. Or il est probable que la valeur du temps unitaire, ou celle rapportée au poids de la marchandise, varie fortement en fonction du segment. Au-delà même de sa taille, la valeur du temps variera probablement en fonction des autres caractéristiques de l'envoi.

La difficulté est alors que la valeur du temps représente une moyenne qui ne rend pas compte des différences de situations. Cette variabilité peut être la cause de la grande incertitude lorsque l'on mesure la valeur du temps, incertitude qui se reflète dans les intervalles de confiance. Broom et alii [1983] suggèrent ainsi que des intervalles de confiance à 95% de $\pm 56\%$ ne sont pas rares.

Les exemples cités ci-dessus permettent, en même temps qu'ils illustrent la variabilité des valeurs du temps, de montrer que la notion de valeur du temps ne se réduit pas à une moyenne et parvient à rendre compte de l'hétérogénéité des durées. Déjà dans les années 70, l'économie des transports avait tenté d'introduire des modèles de choix discrets à coefficients distribués (Bruzelius, [1979]). Ce type d'approche a connu un développement très important au cours des 10 dernières années, et nous y consacrerons notre chapitre 8.

Enfin, on doit souligner qu'utiliser une valeur du temps moyenne n'est erroné que lorsque l'on utilise des modalités de calcul non linéaires, ou que les résultats produits doivent être désagrégés par catégories d'usagers ; ces conditions sont souvent souhaitables mais, lorsqu'elles ne sont pas respectées, il devient inopérant de manipuler une distribution des valeurs du temps.

Conclusions

De ce chapitre nous pouvons tirer deux enseignements.

En premier lieu, une réponse positive à notre interrogation initiale sur la pertinence de la valeur du temps en transport de marchandises. Nous avons par exemple rencontré des interrogations liées à la place des durées de transport dans la hiérarchie des exigences exprimées par les responsables logistiques, ou des interrogations sur l'amplitude des gains de temps permis par les infrastructures de transport, ou des interrogations sur la manière dont les transporteurs peuvent ou non réutiliser des gains de temps. Toutefois aucune de ces interrogations ne nous a semblé de nature à remettre en cause une recherche sur la valeur du temps en transport de marchandises.

En second lieu, ce chapitre nous a fourni un cadre d'analyse qui concerne chacun des termes de notre sujet : "temps" et "valeur".

Ce cadre d'analyse repose tout d'abord sur une définition du temps de transport. Parmi les différentes dimensions temporelles du transport, nous nous concentrerons sur la **durée**. Nous considérons, par ailleurs, des **durées déterministes et connues** des différents intervenants sur le marché des transports. La prise en compte de l'incertitude est alors considérée comme un élément supplémentaire qu'il conviendra d'introduire une fois l'analyse menée dans un cadre déterministe.

En outre les durées doivent être distinguées selon la catégorisation suivante :

- **durées de déplacement** (on pourra aussi dire durées *métakinésiques*) durant lesquelles une marchandise est mise en mouvement par un moyen de transport,
- **durées hors déplacement** (on pourra aussi dire durées *amétakinésiques*) qui correspondent à toutes les opérations qui font partie du transport mais ne sont pas du déplacement.

La somme de ces deux catégories de durées fournissant la **durée de transport**.

A la multiplicité des durées s'ajoute la **multiplicité des contenus que l'on prête à l'expression "valeur"**. On doit alors distinguer plusieurs contenus à cette notion en distinguant :

- d'une part, le type d'agent qui peut attacher de la valeur soit directement aux modifications des durées de *déplacement*, soit indirectement aux durées de *transport* ;
- d'autre part, le type de valeur auquel on s'intéresse. Et nous avons sur ce point distingué trois dimensions de la valeur du temps :
 - **l'objet**, on s'intéresse alors à décrire les modifications de la situation des différents agents économiques lorsque les durées minimales de déplacement sont modifiées.
 - la **norme**, on souhaite alors savoir de quelle manière les gains de temps doivent être pris en compte dans les choix d'investissements effectués par le décideur public.
 - la **mesure**, on s'intéresse alors à quantifier une "valeur du temps".

Ces trois dimensions sont également trois temps de la réflexion. On propose pour terminer ce chapitre de synthétiser, dans le Tableau 10, les principales notations ou définitions que nous avons proposées pour l'*objet* valeur du temps.

Tableau 10 : principales définitions de l'objet valeur du temps

Agent concerné	Type de durée concernée	OBJET			
		Modification des coûts		Consentement à payer...	
		Définition	Notation	Définition	Notation
Transporteur	Déplacement	Coût de déplacement	$cd(d)$... des transporteurs pour une diminution marginale des durées de déplacement	cap_t
	Transport	Coût de production du transport	$cpt(t)$		
Chargeur	Déplacement	Sans objet		... des chargeurs pour une réduction marginale des durées de transport	
	Transport	Coût d'achat du service de transport	$ct(t)$		
		Coût d'immobilisation	$ci(t)$		
Consommateur final	Déplacement	Sans objet			
	Transport	A définir			

Les deux autres temps de la réflexion : la norme et la mesure, seront analysés plus précisément dans les chapitres qui suivent et qui concernent l'état de l'art et l'état de la pratique.

Partie I : L'état de l'art et l'état de la pratique

Chapitre 2 : L'approche par les coûts, de l'analyse à l'évaluation

Introduction

Le chapitre précédent nous a permis de formuler certaines définitions, au sein desquelles la notion de coût de production est présente de plusieurs manières. En particulier, la notion de coût (de production) du transport, et sa relation aux durées - ce que les anglo-saxons appellent "*time depending transportation costs*", est à la base des analyses de la valeur du temps utilisées dans l'économie descriptive ainsi que dans l'approche normative de l'analyse coûts-avantages. Sur ce point, la distinction que nous avons établie entre "l'objet" et "la norme" doit être mise (temporairement) en retrait puisque l'approche par les coûts tend, nous allons le voir, à considérer de manière confondue ces deux aspects.

Ce chapitre présente la manière dont l'analyse économique, ainsi que l'analyse coûts-avantages, considèrent la relation entre coût et durée. Ces éléments sont présentés en mettant en œuvre la distinction entre *déplacements* et *transports*.

Dans une première partie, on présente les analyses économiques du **coût de transport**. Cela amène deux types de développements. D'une part, l'estimation des paramètres de la fonction de coût des transporteurs a été l'objet d'analyses détaillées de la part des économistes. En particulier de nombreuses analyses ont été élaborées au cours des années 70. Nous verrons comment ces analyses, renouvelées depuis lors, tendent toutefois à rester déconnectées de la notion de "temps" de transport. D'autre part, on s'intéresse aux analyses des coûts qui ont été faites de l'autre côté du marché, c'est-à-dire pour les chargeurs : on examine différentes approches du coût du temps pour les chargeurs. Ici on trouvera un lien plus direct avec les durées de *transport*. Ces deux thématiques illustrent, en creux pour la première, de manière plus explicite pour la seconde, le lien entre durées de *transport* et coût. Elles ne nous renseignent toutefois pas sur le rapport entre durée de *déplacement* et coûts. Or, les modifications de "l'état du monde" que nous étudions ici "entrent en jeu" via les durées de *déplacement*.

Dans une deuxième partie, on doit donc examiner de quelle manière est analysée la relation entre **durées de déplacement et coûts**. Dans ce domaine, les documents techniques qui composent ou accompagnent le guide d'analyse coûts-avantages utilisé en Grande-Bretagne, le Manuel COBA (DETR [1996], [1998], [2001]), fournissent une analyse des plus détaillées de ces effets. Nous voici alors passé de l'analyse économique à l'évaluation. On peut alors illustrer plus complètement les pratiques d'évaluation sur la base des circulaires en vigueur en France et en présentant un synoptique des méthodes en vigueur dans différents pays.

Au terme de ce chapitre, nous constaterons que les méthodes d'analyse coûts-avantages, se concentrent, sauf quelques exceptions, sur le coût de production du *déplacement* pour le transporteur et se désintéressent du coût du temps de *transport* pour les chargeurs. Nous verrons que les exceptions à ce constat sont peu nombreuses.

1 Les coûts de transport

On présente tout d'abord le coût du temps pour les transporteurs, puis pour les chargeurs.

1.1 Les coûts du temps pour les transporteurs

On doit souligner l'ancienneté et l'antériorité historique de l'approche par les coûts, présente au XVIIIème et XIXème siècle sous des formes très variées. L'artilleur (sic) Jean de Pommereul [1777]⁶⁰ met en œuvre cette approche. Il présente la réduction des durées de transport comme équivalente à une augmentation des quantités transportées : "*avec une route remise à neuf, une voiture ira trois fois plus vite et portera une fois et demie en plus, soit donc à temps égal, un transport de 4,5 fois plus de marchandises*". Un siècle plus tard, Lachelas [1879] étudie l'opportunité de rectifier une route de montagne. En multipliant la durée du trajet par 1,08 et le poids des chariots admis sur cette route de 1,45 ; "*la dépense du commerce*" s'établit à 74 % (soit 108/145) du niveau initial. Ces approches historiques se rejoignent dans une **équivalence entre gains de temps, gains de capacité, et diminution des coûts**.

Qu'en est-il de l'approche par les coûts pour nos contemporains ? Il s'agit ici de savoir comment les coûts de transports sont modifiés lorsque les durées changent.

Les analyses économiques des coûts de production des transporteurs sont nombreuses. En témoignent, pour le transport routier, les travaux de Spady et Friedlander [1978], Wang Chang et Friedlander [1984], Friedlander et Bruce [1985], Daughety et Nelson [1987], Harmatuck [1981 et 1991] aux Etats-Unis ; Gagné [1990] au Canada ; Tyroyanni [1990 et 1992] ou encore Beuthe, Laffineuse et Sayez [1994]⁶¹ en France. Se distinguent des travaux précédents les recherches de Braeutigam, Daughety et Turnquist [1982] ainsi que, plus anciennement, celles menées par de Salvo [1969] sur le processus de production mis en œuvre dans les firmes de transport ferroviaire.

La plupart de ces travaux s'attachent à la question des rendements d'échelle dans le fret, ainsi qu'aux autres caractéristiques de rendement de la technologie de production : économies de gamme, économies de densité, économies de diversification⁶². C'est notamment le cas de Spady et Friedlander [1978], Friedlander et Bruce [1985]. Les travaux de Harmatuck [1981] sont centrés sur la différence de régime de production entre les transports en camions entiers (Full Truck Load) et les transports par fractions de chargement (Less Than truck Load). D'un point de vue méthodologique, l'ensemble de ces travaux se caractérisent par l'utilisation d'une fonction translog.

De manière très générale, on peut dire que ces travaux se développent selon trois axes : prise en compte des attributs du service de transport dans la mesure de la production (on retrouve les fonctions de productions multi-produits ou multi-attributs mises en avant par Friedlander), prise en compte du prix des facteurs et remise en cause d'une fonction de coût linéaire du fait des restrictions a priori qu'une telle formulation entraîne sur les technologies de production.

On constate cependant la **déconnexion qui prévaut en général entre ces recherches et les études sur la valeur du temps**. Les durées d'acheminement n'apparaissent pas dans les fonctions de coût de production. Si Beuthe et alii [1994] introduisent le temps, c'est un temps long, celui des évolutions technologiques, et non celui des gains de temps lors des déplacements. Une des raisons de cette situation

⁶⁰ Cité par Etner [1987].

⁶¹ Beuthe et alii [1994] fournissent une vue d'ensemble des plus importants des travaux listés ci-dessus.

Pour un examen plus complet de la littérature portant sur les fonctions de coûts et notamment pour un élargissement au transport aérien ou pourra consulter Friedlander et Spady [1981] ; Caves, Christensen et Swanson [1981] ; Friedlander, Winston, Wang [1983] ; Caves, Christensen et Tretheway [1984] ; Gillen et Oum [1983 et 1984] ; Gillen, Oum et Tretheway [1985 et 1987], cités par Oum [1989].

⁶² La diversification de la production par une seule société permet de produire de manière moins coûteuse que la production par des firmes différentes.

est que la quantité de service produit est estimée sur une période agrégée (par exemple une période annuelle). Il est donc difficile d'introduire la durée de transport, caractéristique d'un envoi, comme variable explicative d'un coût agrégé. Quand, cependant, une désagrégation est menée, elle s'effectue selon d'autres critères que la décomposition par envoi. Par exemple Jara-Diaz et Winston [1981] se concentrent sur la décomposition par entreprise et par paire Origine-Destination. Les limitations résultant de l'utilisation de données agrégées sont difficiles à contourner. Ainsi, l'utilisation d'un indicateur agrégé de la durée (par exemple la vitesse moyenne) ne semble pas à même de résoudre cette difficulté. Un tel indicateur ne pourrait avoir un effet explicatif satisfaisant que si la vitesse se reproduisait de manière peu différente entre les envois. Il n'est dès lors pas étonnant que, dans les travaux récemment menés en France sur ce sujet, la dimension temporelle des coûts de transports soit négligée. Tyroyanni [1992] réalise ainsi une enquête sur les déterminants du coût des entreprises de transport en France et n'inclut pas de question sur la durée ni sur la vitesse de transport dans son questionnaire.

On trouve cependant quelques exceptions à ce constat général. Oum [1979b] et [1989], Lewis et Widup [1982] introduisent la vitesse ainsi que sa variance dans l'estimation du coût unitaire sur la base d'une fonction de coût translog. Braeutigam, Daughety et Turnquist [1982] estiment le coût de production à court terme du transport ferroviaire selon la formule :

$$c(y, s, p_1, p_2, p_3; k), \text{ avec :} \quad (2.1)$$

y,	quantité produite,
s,	vitesse,
p ₁ ,	coût du carburant,
p ₂ ,	coût du capital,
p ₃ ,	coût du travail,
k,	quantité de facteurs de production fixes.

Une de leurs conclusions est que l'introduction de données d'ingénierie améliore sensiblement le modèle. Mais même ces approches, qui intègrent explicitement la vitesse, ne permettent pas, le plus souvent, d'évaluer l'impact du temps sur les coûts, outre le problème d'agrégation, la vitesse est prise en compte comme une variable proxy synthétisant différents attributs de la qualité de service (Allen [1977]). Elle recueille donc l'effet d'un ensemble de variables, et ne peut isoler le coût lié aux durées.

L'analyse économique des coûts de transports s'est ainsi développée de manière relativement éloignée des questionnements sur les coûts du temps. Cela n'est pas en soi étonnant si l'on considère que la durée de déplacement est une donnée désagrégée qu'il est difficile de manier concomitamment à une fonction de coût agrégée.

1.2 Le coût du temps pour les chargeurs

De l'autre côté du marché, c'est-à-dire pour les chargeurs, il existe également un "coût du temps". Le lien est double. Tout d'abord parce que les chargeurs acquièrent un service dont le coût dépend du temps, ce qui sera reflété par le prix de la prestation de transport sur le marché. D'autre part, les chargeurs subissent certains coûts dépendant de la durée que leurs marchandises passent en déplacement. Winston [1981, p. 994] dénombre ainsi comme principales composantes du coût du temps : "*coûts d'obsolescence, coûts des intérêts lors des déplacements, coûts des intérêts et frais liés au stockage*^{xiv 63}". Les coûts des entreprises peuvent ainsi être variables selon les durées de transport. L'exemple le plus manifeste s'en trouve dans les biens périssables qui peuvent subir un changement de leurs caractéristiques physiques durant le transport. Une autre réalité, d'un maniement plus difficile, est le changement de l'état du marché au cours de la durée de déplacement. Cet élément pouvant jouer dans les deux sens. L'Huillier [1960] rappelait dans un contexte qui, il est vrai, n'est plus tout à fait celui d'aujourd'hui, le cas des cargos

⁶³ Sur les coûts d'obsolescence, Winston donne l'exemple de la presse.

bananiers qui devaient "*ralentir sur ordre avant d'arriver au port, pour que leur cargaison bénéficie d'une remontée des cours.*"

Ces effets, multiples, peuvent être classifiés de plusieurs manières.

Ils peuvent être classifiés, tout d'abord, **selon la fonction de l'entreprise à laquelle ils correspondent**. Ainsi outre les coûts de transport à proprement parler, d'autres catégories de coût dépendent également des durées de déplacement. Walker [1994] montre comment les coûts de transport ne constituent qu'une partie (pas la plus importante) de l'ensemble des coûts logistiques de l'entreprise. Ces éléments sont présentés dans le Tableau 12.

Tableau 11 : incidence sur les coûts des différentes fonctions de distribution

	Part du prix de vente du bien	Part des coûts de distribution ⁶⁴
Transport	1,9 %	27 %
Entreposage	2,3 %	34 %
Stock	1,5 %	21 %
Traitement des commandes	0,8 %	11 %
Administration	0,5 %	7 %

Source : Walker [1994], citant l' European Logistics Consultants Distribution Cost Data Base [1992]

De manière alternative, les coûts liés aux durées de transport peuvent être classifiés **selon la source des coûts concernés**. Nous proposons dans le Tableau 12 une classification de ces différents coûts.

Tableau 12 : les effets des durées de transport sur les coûts des chargeurs

	Catégorie	Commentaire
Coûts	Coûts financiers d'immobilisation	A minima.
	Modification des caractéristiques physiques des biens	Si le bien est périssable.
	Coût du stock optimal	Si les durées de transport sont incertaines ou les quantités consommées variables.
	Coût de rupture de stock	Si le chargeur fait des stocks de précaution, le coût de rupture de stock est diminué, mais le coût du stock optimal est augmenté.
	Réorganisation logistique	Les modifications des durées de transport permettent de modifier la localisation des dépôts.

Ce tableau suggère que les coûts liés aux durées de transport sont de nature très variée. Il nous invite à un examen complémentaire. On propose de réaliser cet examen selon le regroupement suivant : tout d'abord on montre comment la prise en compte des seuls coûts financiers d'immobilisation ne rend compte que d'une fraction des coûts du temps pour les chargeurs. Ensuite, on présente une formulation en termes de coûts logistiques. Cette formulation rend compte notamment du coût du stock optimal établi en prenant en compte le coût de rupture de stock. Enfin, on présente des mécanismes de plus long terme : lorsque les durées de transport diminuent, d'autres ajustements sont possibles pour les entreprises qui peuvent par exemple modifier la localisation de leurs dépôts.

Commençons par les coûts financiers d'immobilisation.

⁶⁴ Sic, résultat différent de 100% dans la source.

Coûts financiers d'immobilisation : l'insuffisance de l'approche par le taux d'intérêt

Intuitivement, le taux d'intérêt semble fournir une estimation du coût associé à l'immobilisation d'un capital pendant une durée. Il pourrait rendre compte de l'indisponibilité du capital circulant immobilisé lors des opérations de transports. C'est l'approche présentée en 1970 par Caralp et alii "*les gains sur les marchandises transportées du fait d'un gain de temps de transport correspondent à une diminution du coût d'immobilisation du capital*" (Caralp et alii [1970]). Les gains ainsi définis peuvent s'exprimer par :

Coût d'immobilisation = prix des marchandises transportées x taux d'intérêt courant x temps de transport.

Cette approche a donné lieu à des quantifications : McKinnon [1998] donne une estimation de la valeur du capital circulant immobilisé dans les opérations de transport. Il y aurait dans l'économie britannique environ 350 millions de Livres sterling de stock immobilisé dans les opérations de transport à un instant donné, ce qui correspond à un coût de stockage de 40 millions de Livres sterling.

Toutefois, la plupart des résultats disponibles suggèrent que les intérêts sur le capital circulant jouent un rôle extrêmement faible dans les coûts des chargeurs et que l'application d'un taux d'intérêt à la valeur des marchandises transportées ne constituerait, au mieux, qu'un minorant au coût du temps pour les chargeurs. D'un point de vue empirique, de nombreuses études ont souligné que le taux d'intérêt fournit une valeur du temps nettement inférieure à celle observée dans le comportement des agents économiques. McKinnon [1998] remarque ainsi que le coût d'une augmentation des durées de transport, calculé par la valeur du stock, donne une valorisation très faible des pertes de temps par rapport à d'autres méthodes et notamment à l'analyse des coûts de production des chargeurs. Par ailleurs Blauwens et Van de Voorde [1988] notaient que la valeur du temps, calculée en observant le choix modal des chargeurs, représente 74% de la valeur annuelle du bien, une valeur qui leur apparaît fortement supérieure à celle qui résulte de l'application d'un taux d'intérêt sur la valeur du bien. Plus récemment, Fridstrøm et Madslie [1994] trouvent que les valeurs du temps dépassent les taux d'intérêt par un facteur à deux ou trois chiffres.

En raison de ces constats empiriques, l'analyse économique s'est détournée de l'approche par le taux d'intérêt qui, du reste, ne trouve plus d'écho significatif dans la littérature économique récente ; non pas que les coûts d'immobilisation soient inexistantes mais plutôt qu'ils sont dominés par d'autres effets plus importants.

L'analyse économique s'est alors intéressée à une catégorie de coût moins restrictive que les coûts d'immobilisation et que l'on peut regrouper sous le terme "coûts logistiques".

Les coûts logistiques : immobilisation et stock optimal

L'approche formulée en termes de coûts logistiques repose sur la minimisation des coûts de fonctionnement du système logistique des firmes. Ces coûts intègrent le plus souvent des coûts de transport et des coûts de stockage ainsi que des coûts de rupture de stock.

Une formulation générale est fournie par McGinnis [1989] en ces termes :

$C = \text{coûts directs d'expédition} + \text{coûts d'immobilisation} + \text{coûts des commandes} + \text{coûts d'immobilisation du destinataire} + \text{stock de sécurité}^{\text{sv}}$.

Cette formulation trouve une formalisation précise dans les travaux de Baumol et Vinod [1970] et de Viera [1992] que nous présentons maintenant.

Le modèle de Baumol-Vinod

Baumol et Vinod [1970] donnent une formulation générale du coût logistique d'une entreprise. Ce modèle peut être mis en œuvre selon deux degrés de difficultés : tout d'abord en supposant une demande constante, puis en prenant en compte des variations non prévues de la demande qui amènent alors à prendre en compte le risque de rupture de stock.

Lorsque les **quantités demandées sont constantes**, le coût est donné par (notations des auteurs) :

$$C = rT + utT + a/s + wsT/2, \text{ avec :} \quad (2.2)$$

C	coût annuel de gestion des stocks,
r	coût de transport par unité,
T	quantité totale de marchandises transportées chaque année,
u	coûts d'immobilisation (carrying costs) lors du déplacement par unité et par année (intérêts, perte de valeur, dommages),
t	durée moyenne pour réaliser une expédition (en année),
a	coût de commandes et traitement des envois,
s	durée moyenne entre chaque envoi (année),
w	coût de stockage (par année).

Littéralement :

Coûts logistiques = coût de transport + le coût d'immobilisation + traitement des commandes + coût de stockage.

Le chargeur contrôle la variable s . Il choisit un s^* optimal qui, réintroduit dans la fonction de coût, donne :

$$C = rT + utT + 2awT^{1/2}. \quad (2.3)$$

On voit ainsi que les coûts logistiques de l'entreprise sont une fonction croissante de la durée d'expédition t . Ces durées n'ont d'effet que par l'immobilisation des marchandises. Le niveau de stock optimal, quant à lui, n'est pas influencé par les durées de transport parce que la demande est constante et les durées de déplacement sont déterministes.

Ce modèle peut être complété pour prendre en compte le caractère **variable de la demande**. Cette situation est reflétée par une fonction de coût logistique du type :

$$C = rT + utT + a/s + wsT/2 + wk((s+t).T)^{1/2}, \quad (2.4)$$

où le dernier terme se réfère au coût de constitution d'un stock de sécurité destiné à diminuer les recettes qui seraient perdues du fait de ruptures de stock. La notation k est introduite pour représenter la probabilité acceptée de rupture de stock.

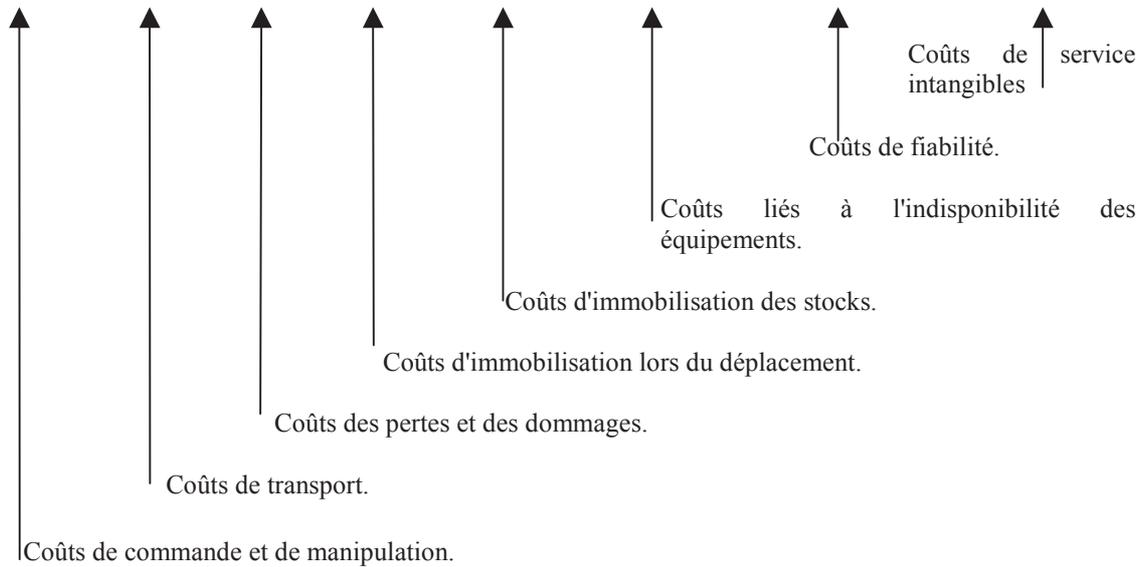
La réduction des durées de transport comporte alors deux composantes : d'une part, la réduction des coûts d'immobilisation liée à la durée de déplacement ; d'autre part, la réduction des coûts du stock de sécurité.

Le modèle de Baumol et Vinod fournira ainsi une estimation de l'effet d'une modification des durées de déplacement sur les coûts des chargeurs. Une autre formalisation plus récente est fournie par Viera [1992].

La formalisation de Viera

Viera [1992, p. 34] établit une formulation du coût logistique annuel lié à l'utilisation du mode j pour une entreprise, sous l'hypothèse où il n'y a pas de saisonnalité de l'activité et où les biens ne sont pas périssables.

$$w_j = \left[o \cdot \left(\frac{Q}{q_j} \right) \right] + [r_j \cdot Q] + [i \cdot d_j \cdot m \cdot p \cdot Q] + \left[i \cdot t_j \cdot \left(\frac{p \cdot Q}{365} \right) \right] + \left[i \cdot p \cdot \left(\frac{q_j}{2} \right) \right] + \left[i \cdot \left(L + \frac{1 - \tau_j}{\Delta \tau_j} \right) \cdot \left(\frac{p \cdot Q}{365} \right) \right] + \left[i \cdot (1 - u_j) \cdot n \cdot \left(\frac{p \cdot Q}{365} \right) \right] + [src_j] \quad (2.5)$$



avec :

- o , coût unitaire de traitement d'une commande,
- Q , quantité expédiée annuellement (tonne/an),
- q_j , quantité de produit par envoi (tonne),
- r_j , coût de transport par tonne (\$/tonne),
- n , nombre de jour où un équipement est indisponible,
- src_j , coûts de service intangibles,
- i , taux d'intérêt annuel,
- d_j , fraction des envois qui sont perdus ou endommagés,
- m , durée moyenne de collecte des pénalités (années),
- p , prix moyen du produit acheminé (\$/tonne),
- t , durée moyenne de transport (jour),
- L , dernier jour autorisé pour l'arrivée,
- τ , fraction des envois qui arrivent à temps,
- u , fraction du temps où une quantité suffisante de matériel est reçue⁶⁵,
- $\Delta \tau$, diminution de la probabilité de rupture de stock du fait de l'augmentation d'une journée du stock de sécurité.

⁶⁵ Plus précisément, Viera la définit comme "(the fraction of time where) a sufficient quantity of acceptable equipment is received when wanted".

Les coûts se regroupent ainsi :

- **Coûts de commande et de manipulation.**
- **Coûts de transport.:**
- **Coûts des pertes et des dommages.** En supposant que le plus souvent, le transporteur dédommage le chargeur pour les marchandises perdues ou endommagées, celui-ci doit supporter un coût du fait du délai entre le dommage subi et sa réparation par le fournisseur. Ce coût peut s'exprimer comme suit : $i.d_j.m.p.Q$.
- **Coûts d'immobilisation lors du déplacement.** Coût du capital immobilisé entre le moment où un envoi est expédié et le moment où il est réceptionné : $i.t.(p.Q)/365$
- **Coûts d'immobilisation du stock** : il correspond à $i.p.q/2$. (le niveau moyen de stock est $q/2$)
- **Coûts liés à l'indisponibilité des équipements** (coûts en capital du fait de l'indisponibilité ou du retard des équipements) : ils sont estimés à partir d'un nombre moyen de jours d'indisponibilité : $i.(1-u).n.p.Q/365$.
- **Coûts de fiabilité.** Coût (pour le réceptionnaire) d'une arrivée précoce ou tardive :

$i.L.\left(\frac{p.Q}{365}\right) + (1-\tau).so.\frac{Q}{q}$, soit encore $i.(L+\frac{1-\tau}{\Delta\tau}).\frac{p.Q}{365}$, avec : $so = \frac{i}{\Delta\tau} . \frac{p.q}{365}$, où L est le dernier jour autorisé pour l'arrivée du bien.

- **Coûts de services intangibles** : comprend les coûts associés aux dimensions intangibles de la qualité de service, comme l'absence d'EDI (Echange de Données Informatisées), une offre insuffisante en terme de délais de paiement.

Dans la formule de Viera, les durées de transport sont présentes de manière explicite dans les coûts du capital immobilisé durant les transports. Ces durées sont aussi présentes, mais de manière indirecte, dans le volume du stock de sécurité.

Les formalisations proposées par Viera ou par Baumol et Vinod permettent ainsi d'analyser l'effet des durées de transport sur les coûts logistiques des entreprises. Elles ne constituent toutefois qu'une partie des formalisations disponibles (on pourra également examiner Allen [1977 et 1985]). Leur avantage est qu'elles permettent de formaliser, de manière précise, les mécanismes par lesquels une baisse des durées affecte les coûts logistiques du chargeur. Dans la suite de ce travail, nous aurons à nouveau l'occasion de mobiliser une telle formalisation nous proposons alors de nous en tenir à l'approche de Baumol et Vinod. Certes, cette formulation a été établie il y a plus de 35 ans, elle est également critiquée parce que le calcul du stock optimal repose sur l'hypothèse d'une distribution de Poisson des phénomènes qui sont à la source de l'incertitude, ou encore parce qu'elle est plus adaptée à un destinataire qu'à un expéditeur de marchandises. Malgré ces limitations nous proposons de retenir cette formulation parce qu'elle permet, à la différence de la formulation de Viera de prendre en compte explicitement l'effet des durées de déplacement sur le stock optimal.

Ces formulations s'en tiennent toutefois à une organisation logistique figée (typiquement elles ne prennent pas en compte les possibilités de relocalisation des dépôts) alors que les possibilités de réorganiser la logistique d'entreprise sont dans la réalité offertes aux entreprises lorsque les durées de déplacement sont modifiées. De tels mécanismes sont au cœur de certaines analyses économiques qu'il nous faut maintenant présenter.

Les possibilités de réorganisation logistique

Les possibilités de réorganisation logistique ont été analysées initialement par les travaux de Mohring et Williamson [1969] et plus récemment par Quarmby [1989], Cox [1992], Hickling [1991], Mackie et Tweddle [1992 et 1993].

Mackie et Tweddle [1993] analysent ainsi quatre secteurs utilisateurs de transports en compte propre : grande distribution, distribution de gaz, brasseries, distribution des vins et spiritueux. Ils simulent une modification de l'offre routière, puis réalisent une optimisation du réseau de distribution des entreprises (localisation, affectation des clients aux dépôts). On peut alors comparer les économies correspondant strictement à la réduction des coûts de transport et l'économie découlant d'une réorganisation logistique. Dans le secteur de la distribution de gaz, les bénéfices résultant d'une réorganisation logistique peuvent augmenter de 32% les bénéfices estimés sur la base des seules économies des coûts de transport.

Quarmby [1989] analyse les économies d'échelles qui peuvent résulter de la consolidation des lieux de stockage. Par un exercice de simulation théorique⁶⁶ il montre qu'une diminution de 10% des durées de transport permet des économies dans l'organisation logistique qui atteignent 23 % du total des bénéfices des diminutions de durées.

Mackie et Tweddle [1992] soulignent quant à eux que les manipulations de marchandises sont diminuées lorsque le lieu de stockage peut être confondu avec le lieu de production. Ils tendent toutefois à relativiser l'impact des ces économies de réorganisation logistique par rapport aux travaux de Quarmby et montrent que, appliquées à l'activité des brasseries, elles représentent moins de 20 % des avantages (sans que ne soit précisé combien en moins).

Cox [1992], cité par BTRE [1999], conclut que les bénéfices qualifiés "d'indirects" peuvent représenter de 24 % à 105 % à ajouter aux réductions de coût déjà valorisées dans les méthodes d'analyses coûts-avantages. On doit toutefois être prudent dans l'utilisation de cet éventail de valeurs car la borne supérieure correspond à l'étude Hickling [1991], dont les faiblesses sont soulignées par ailleurs (BTRE [1999]).

Ces bénéfices additionnels représentent donc l'impact des durées de transport (et des coûts correspondant) sur les coûts logistiques à des chargeurs. Ces éléments tendraient donc à justifier l'inclusion d'une valeur du temps des chargeurs dans l'analyse coûts-avantages. Plusieurs auteurs tendent à conclure en ce sens, bien qu'ils nuancent l'importance de ces gains. Fowkes et al [a] suggèrent que les économies de réorganisation à venir seront moins importantes que celles constatées par le passé. *"la concentration des lieux de production et une réduction dans le nombre des dépôts, qu'une entreprise donnée utilise, continuera sans doute, avec l'extension à une échelle européenne des systèmes de production et de distribution"*^{xvi}. Mais ils rajoutent : *"(on peut prévoir) que l'amplitude des développements futurs dans ces directions sera nettement inférieure à ce qu'elle a été dans les quinze dernières années"*^{xvii}. McKinnon [1995] soulignait qu'il est possible que la construction d'un réseau autoroutier soit un épisode historique unique qui amène une réorganisation des processus de production qui n'est pas susceptible de se reproduire. Il se peut alors que l'essentiel des gains liés à cette réorganisation aient été déjà réalisés.

On voit donc que, même si la portée de ces éléments doit être nuancée, ainsi que nous y invitent Tony Fowkes et Alan McKinnon, des possibilités de réorganisation des chargeurs doivent être prises en compte par l'analyse économique des réductions de durées de transports. Ces gains s'ajoutent aux "coûts

⁶⁶ La portée de cette simulation est limitée par l'existence de deux hypothèses :

- L'absence de corrélation entre les cycles des différents commerces de détail. Cette hypothèse permet de diminuer le stock de sécurité lorsque la taille des dépôts s'agrandit. Or il est possible, si ce n'est probable, qu'une corrélation positive existe entre les cycles des différents centres de distribution.
- La rigidité des limitations d'horaires journaliers. Or une rigidité absolue semble une hypothèse forte.

logistiques" des chargeurs sur lesquels l'analyse logistique dispose de résultats théoriques solidement établis, pour poser à nouveau la question de la "valeur du temps des chargeurs" dans l'analyse coûts-avantages. Nous ne prononcerons pas à ce point sur cette question, et nous présenterons un peu plus loin dans ce chapitre de quelle manière ces gains sont présents (ou absents) dans l'analyse coûts-avantages.

1.3 Conclusion sur les coûts liés aux durées de transport

On peut, parvenu à ce point, reprendre les principaux éléments que nous a apportés notre analyse des coûts de transport.

On conclut tout d'abord sur le **coût des transporteurs**. L'analyse économique nous propose donc des fonctions de coût de production des durées de transport, qui sont en général déconnectées de la durée de transport. Notamment le caractère agrégé des fonctions de coût utilisées rend difficile la prise en compte des durées ou vitesses qui peuvent être fortement différentes d'un envoi à l'autre.

Concernant les **coûts de chargeurs**, on met en évidence deux registres. D'une part, une formulation qui prend en compte les **arbitrages de long terme des entreprises** et pour laquelle existent des estimations numériques, celles-ci appelant cependant à des analyses complémentaires. D'autre part, une **analyse des coûts logistiques liés aux arbitrages à court terme** des entreprises. Sur ce point, on relève la césure qui existe entre la formalisation en termes de coûts logistiques et la production de résultats quantifiés sur le coût du temps pour les chargeurs. On imagine la difficulté importante à trouver les données adéquates permettant de donner une valeur aux coefficients de telles fonctions de coûts, soit que l'on recherche ces données dans les archives comptables des entreprises soit que l'on s'en remette à des données déclarées, mais il est alors très possible que les entreprises ne sachent pas identifier les différents postes distingués par la formulation des coûts logistiques complets. Allen [1985] s'en tient à des paramètres arbitraires de la fonction de coûts. Certes, il suggère que "*des estimations raisonnables peuvent être faites en utilisant des études de coûts basées sur des données d'ingénierie^{xviii}*", mais de telles données restent, en générale, difficiles à obtenir. Et on peut ici reprendre les conclusions de McGinnis [1989] concernant le modèle "inventory theoretic" : "*ce modèle n'a reçu que peu de confirmation dans les travaux empiriques^{xix}*".

Ces éléments, portant sur l'effet de la *durée de transport*, appellent à être complétés par une formalisation des coûts du transporteur en fonction des *durées de déplacement*. En effet une modification de l'infrastructure de transport n'affecte les durées de transport qu'indirectement, par l'intermédiaire des durées de déplacement. C'est donc ces dernières qui doivent maintenant être placées au cœur de notre analyse.

2 Les coûts de déplacement

Dans cette partie on se concentre sur la relation entre *coûts* et durées de déplacement. On reprend ici la notation introduite dans le chapitre précédent, d'une fonction $cd(d)$ qui fournit le coût de déplacement du transporteur en fonction des durées de déplacement. Bien évidemment le coût de déplacement dépend de très nombreux facteurs : poids du chargement, véhicule utilisé. Ce qui nous intéresse ici est de savoir comment le coût est modifié en fonction de la durée de déplacement, toutes autres choses égales par ailleurs.

On introduit tout d'abord quelques éléments sur la relation coût-durée pour le mode ferroviaire. Puis on présente les résultats, plus nombreux, concernant le mode routier.

2.1 Eléments sur les coûts du temps en transport ferroviaire

Les éléments disponibles concernant le coût du temps pour le mode ferroviaire sont beaucoup moins nombreux que ceux qui concernent le mode routier. Ils amènent toutefois à souligner le rôle particulier :

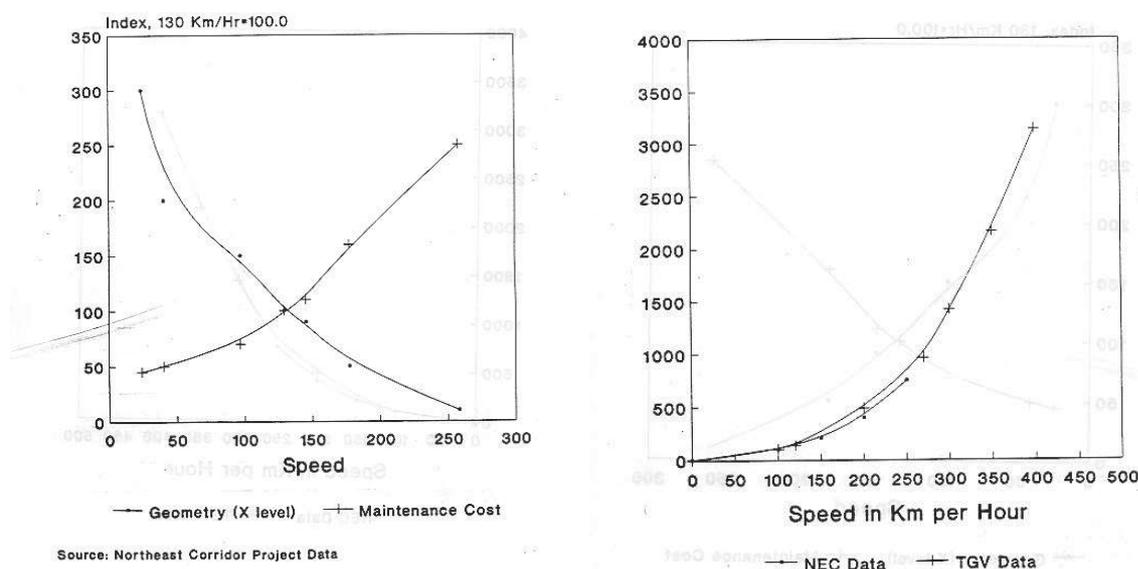
- des caractéristiques de l'infrastructure :
 - les standards de qualité de l'infrastructure ont un lien marqué avec les vitesses de circulation. Thompson [1990] souligne la relation entre la rapidité des trains et les standards de qualité des voies : *"les frais de maintenance sur une ligne à usage mixte croissent ainsi de manière approximativement géométrique lorsque les standards de qualité des rails deviennent plus stricts^{xx}"*. Cette relation est représentée par la courbe croissante reportée sur le volet (a) de la Figure 9.
- de la gêne intervéhiculaire.
 - La vitesse de chaque circulation a un effet, beaucoup plus marqué qu'en routier, sur la capacité de l'infrastructure.
 - Les vitesses de chaque circulation ont des effets importants sur les circulations précédentes et suivantes.

Cela implique qu'une analyse détaillée de la relation durée de déplacement – coût de déplacement dans le transport ferroviaire devrait prendre en compte d'une part, une fraction du coût de mise à niveau de l'infrastructure ainsi que les "externalités" que chaque circulation crée pour les autres.

Si l'on néglige dans un premier temps ces deux éléments, on pourra considérer un train isolé, circulant en deçà de la vitesse maximale techniquement autorisée par l'infrastructure. Cette situation simplifiée permet de mettre en évidence des relations technologiques entre vitesse de circulation et consommation énergétique : *"les chemins de fer sont des transports d'une très grande efficacité pour des vitesses faibles, grâce au facteur de frottement extrêmement faible entre les roues en acier et les rails en acier. Lorsque la vitesse augmente, les facteurs qui génèrent une résistance commencent à prédominer ; lorsque la vitesse augmente au-delà de 100 km/h. environ, la résistance de l'air commence à être un facteur majeur et la puissance nécessaire pour s'y opposer augmente environ comme la puissance troisième de la vitesse^{xxi}"* (Thompson [1990]). Cette relation est décrite par le volet b de la Figure 9 qui représente la consommation énergétique croissante (convexe) en fonction de la vitesse.

Figure 9 : les coûts de la vitesse en transport ferroviaire

a – relation entre la vitesse de circulation et la qualité des voies ainsi que les coûts de maintenance
 b – relation entre la vitesse de circulation et la puissance nécessaire pour s'opposer à la résistance du vent



Source : Thompson [1990]

Ces quelques éléments, liminaires, illustrent de quelle manière les durées de déplacement ont un effet sur les coûts de déplacement ferroviaires. Ils gagneraient à être enrichis par une analyse économique plus poussée. Nous avons privilégié une autre démarche, qui consiste à s'en tenir à ces éléments par ailleurs suggestifs sur le mode ferroviaire et à présenter une analyse plus détaillée du mode routier.

2.2 Le coût de déplacement en transport routier

On propose tout d'abord d'introduire quelques notations.

Notations

La relation entre durées de déplacement et coût de déplacement met en œuvre deux types de relations.

- La première est strictement proportionnelle aux durées et correspond au coût des facteurs travail et capital. Elle se décompose à son tour en deux termes qui correspondent au coût des :
 - heures.camion
 - heures.chauffeur.
- La seconde composante est liée au coût d'utilisation des véhicules. Elle dépend des vitesses et reflète principalement le fait que la consommation de carburant et l'usure des véhicules sont variables selon les vitesses. Si l'on omettait cet effet, on ne pourrait pas prendre en compte le fait que des vitesses importantes peuvent impliquer certains surcoûts et on observerait que les coûts de productions sont une fonction monotone décroissante de la durée.

La fonction de coût de déplacement, pour une distance donnée, peut dans ce cadre s'exprimer comme la somme sur tous les tronçons utilisés des coûts dépendants du temps de déplacement (noté d_t) passé sur le tronçon et du coût kilométrique (fonction de la vitesse pratiquée) multiplié par la distance. Cette fonction peut également prendre en compte l'ensemble d'autres caractéristiques du déplacement : type de véhicule et poids du chargement notamment. L'effet du type de véhicule sera pris en compte en

distinguant lorsque cela sera nécessaire, plusieurs fonctions distinctes, les autres effets seront supposés fixes, sauf mention contraire explicite. Pour un état donné de la technologie on a :

$$cd(k, d) = \sum_{\ell=1}^L w_{\ell} \cdot d_{\ell} + q_{\ell} \cdot d_{\ell} + k_{\ell} \cdot g(k_{\ell}/d_{\ell}); \text{ où } \ell=1, \dots, L \text{ est l'indice du tronçon.} \quad (2.6)$$

w_{ℓ} ,	coût horaire du travail (que l'on suppose ici, par simplification, constant).
q_{ℓ} ,	coût horaire d'utilisation d'un camion (supposé constant).
k_{ℓ} ,	distance kilométrique du déplacement sur le tronçon ℓ .
d_{ℓ} ,	durée du déplacement sur le tronçon ℓ .
$g(k_{\ell}/d_{\ell})$,	coût <i>kilométrique</i> d'utilisation des véhicules.

Ce dernier élément, $g(k_{\ell}/d_{\ell})$, ne dépend que de la vitesse. Pour garder des notations cohérentes nous l'exprimons en fonction du rapport entre les distances et les durées.

On pourra par simplification supposer un tronçon représentatif unique⁶⁷. Soit

$$cd(k, d) = w \cdot d + q \cdot d + k \cdot g(k/d) \quad (2.7)$$

Cette formalisation simplifiée peut alors être mise en regard d'estimations empiriques. Sur ce point le Manuel COBA fournit des éléments numériques.

2.3 L'approche du COBA

Le manuel COBA est un guide de référence utilisé par l'administration britannique pour évaluer les projets d'investissement. Ce manuel contient notamment une formalisation des coûts de déplacement en fonction de la durée de déplacement. Cette formalisation opère un regroupement des trois termes présents dans (2.7) selon deux ensembles. Le terme $w \cdot d$ est pris en compte en tant que "valeur du temps", le terme $q \cdot d + k \cdot g(k/d)$ est pris en compte en tant que coût de fonctionnement des véhicules. Soit, si l'on utilise les termes du manuel COBA :

$$c(k;d) = \underbrace{w \cdot d}_{\text{Value of time}} + \underbrace{q \cdot d + k \cdot g(k/d)}_{\text{Vehicle operating costs}} \quad (2.7)$$

Examinons un à un ces deux termes.

⁶⁷ On note toutefois que si g est convexe, la représentation par un tronçon unique implique une sous-estimation du coût de fonctionnement. Pour deux tronçons sur lesquels on utilise la vitesse moyenne on a : $g((k_1+k_2)/(d_1+d_2)) < g(k_1/d_1) + g(k_2/d_2)$.

Si g est convexe. $\forall \alpha$ élément de $]0; 1[$ on vérifie : $g[\alpha(k_1/d_1) + (1-\alpha)(k_2/d_2)] < \alpha \cdot g(k_1/d_1) + (1-\alpha)g(k_2/d_2)$.

En particulier, pour $\alpha = d_1/(d_1 + d_2)$ on a : $g((k_1+k_2)/(d_1+d_2)) < d_1/(d_1+d_2) \cdot (g(k_1/d_1) + d_2/(d_1+d_2) \cdot g(k_2/d_2))$. Le terme de droite peut se réécrire $(g(k_1/d_1) + g(k_2/d_2)) - (d_2/(d_2+d_1)g(k_1/d_1) + d_1/(d_2+d_1) \cdot g(k_2/d_2))$. La dernière parenthèse étant de signe positif, le terme de droite est inférieur à $(g(k_1/d_1) + g(k_2/d_2))$. Au final, $g[(k_1+k_2)/(d_1+d_2)] < g(k_1/d_1) + g(k_2/d_2)$.

⁶⁸ Sur la base du *Labour Cost Survey* (enquête sur le coût du travail) de 1992.

Valeur du temps pour les occupants

La valeur du temps pour les occupants du véhicule est calculée à partir de l'ensemble des charges salariales horaires (salaire et charges y compris les cotisations au système national d'assurance et de retraites). Les charges applicables au salaire brut sont estimées à 24 % de celui-ci⁶⁸. Ces coûts sont présentés dans le Tableau 13 ci-dessous. Il peut y avoir deux justifications pour ce mode de comptabilisation. Soit l'économie de coûts salariaux permis par le gain de temps. Soit le coût d'opportunité : c'est-à-dire que l'heure passée dans les déplacements, fait perdre une production alternative.

Tableau 13 : valeur du temps des occupants et nombre de personnes par type de véhicule (pence/heure)

	Valeur du temps des occupants	Nombre personnes par véh.	Valeur du temps par véhicule.
V.L. ⁶⁹ conducteur	1744	1,22	1443
V.L. passager	1369		
Véhicules marchandises légers ⁷⁰ :	731	1,2	877
Autres véhicules de marchandise ⁷¹ :	731	1	731

Source : Transport Economics Note, DETR [2001]

Ces coûts salariaux sont appliqués à l'ensemble des occupants des véhicules. On obtient ainsi une valeur du temps par véhicule. On remarque que la Transport Economics Note qui accompagne le Manuel COBA fait la distinction entre deux notions parfois confondues : valeur du temps des camions et valeurs du temps pour le transport de marchandises, elle distingue en effet l'utilisation professionnelle et non professionnelle des véhicules de marchandises légers. Ceci permet de distinguer la fraction des déplacements en Véhicules de marchandises légers correspondant à des motifs professionnels. On considérera que cette fraction correspond à du transport de marchandises⁷².

Les coûts de fonctionnement des véhicules

La deuxième composante des coûts variables en fonction des durées de déplacement s'écrit :

$$v.o.c = k \cdot \left(\left(a + b \cdot (k/d) + c \cdot (k/d)^2 \right) \cdot p + (a' + b' / (k/d)) \right), \text{ avec :} \quad (2.8)$$

v.o.c.	Vehicle Operating Costs,
k,	distance kilométrique du déplacement,
a, b, c,	paramètres décrivant la consommation du véhicule en fonction des vitesses,
p,	prix de l'essence,
a', b'	paramètres décrivant le coût d'utilisation des véhicules,
d	durée de déplacement.

L'équation (2.8) montre ainsi que la relation coût de déplacement – durée de déplacement doit prendre en compte deux effets.

1 - les coûts liés aux carburants, p représentant le prix de l'essence,

⁶⁹ Véhicules Légers.

⁷⁰ Light Good Vehicles.

⁷¹ Other Good Vehicles.

⁷² En toute rigueur on devrait aussi distinguer au sein des déplacements pour motif professionnels, ceux qui impliquent le transport de marchandises et ceux qui ne l'impliquent pas.

2 - la seconde composante réunit les autres effets (nommément : les lubrifiants, les pneus, la maintenance, la dépréciation, et l'économie sur le stock de camions nécessaires pour fournir un service donné).

Le Tableau 14 fournit l'estimation numérique de ces paramètres différenciée selon les types de véhicules, telle qu'elle est préconisée par le Manuel COBA.

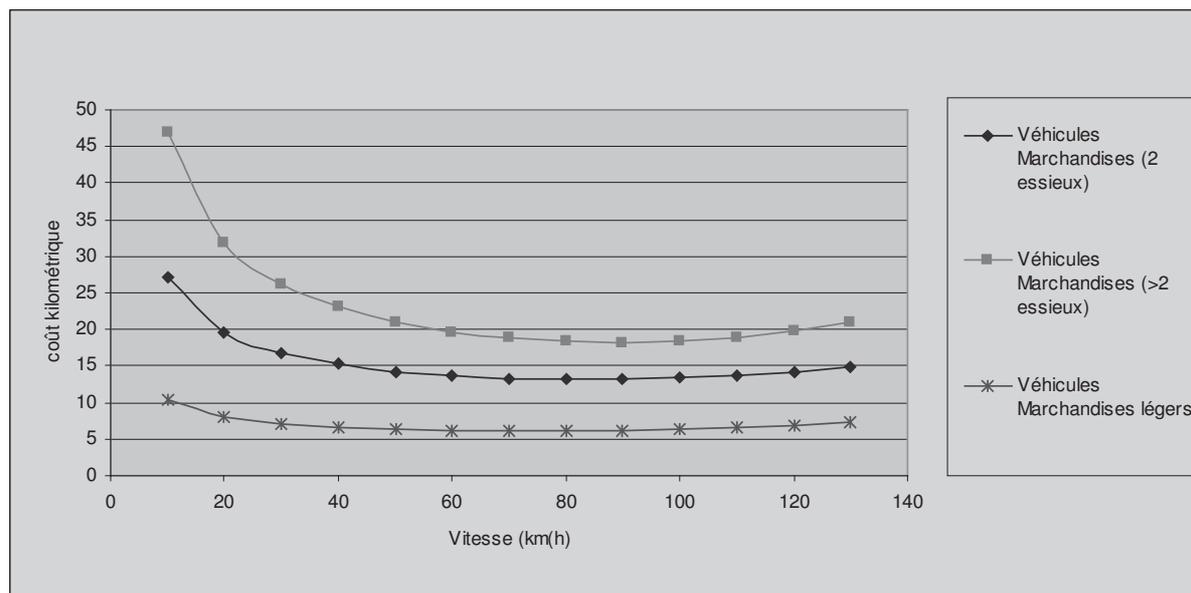
Tableau 14 : coefficients des coûts kilométriques de fonctionnement des véhicules

Carburant :	a	b	c
Car :	0,1689	-0,00282	0,0000191
Light Goods Vehicle	0,2026	-0,00328	0,0000263
Other Goods Vehicle 1 ⁷³	0,4649	-0,00751	0,00005454
Other Goods Vehicle 2	0,9529	-0,01479	0,00010083
Autres:	a'	b'	
Car :	3,04	15,54	
Light Goods Vehicle	4,336	38,28	
Other Goods Vehicle 1	8,828	133,74	
Other Goods Vehicle 2	9,859	270,92	

Source : Transport Economics Note, DETR [2001]

La Figure 10 fournit la représentation graphique du coût kilométrique pour trois catégories de véhicules.

Figure 10 : coût kilométrique en fonction de la vitesse pour trois catégories de véhicules (pence)

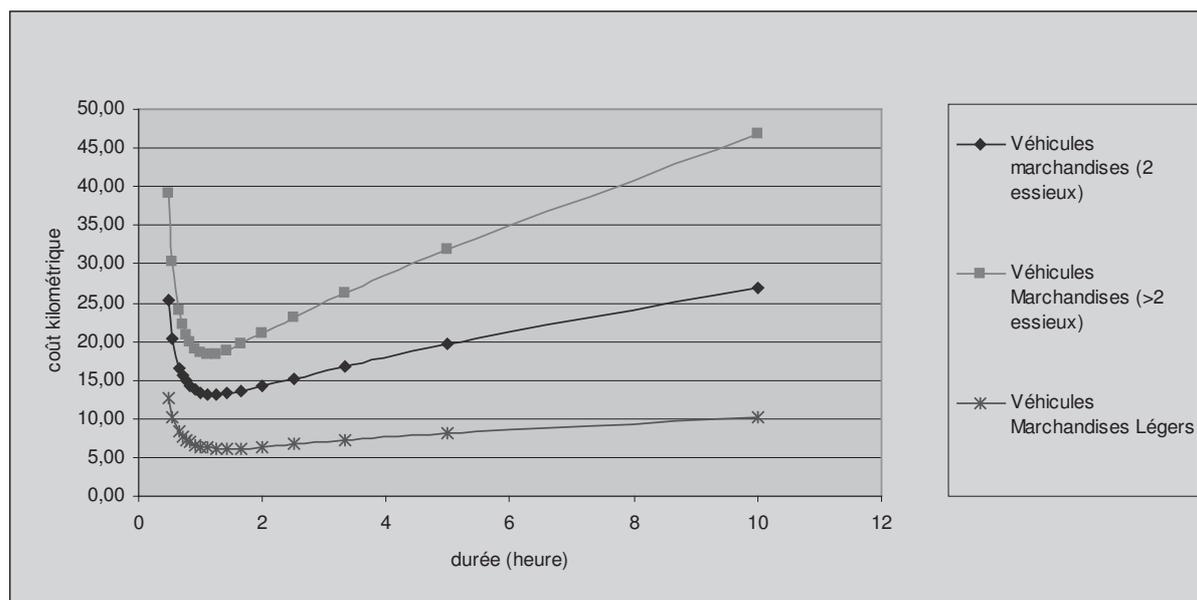


Source : Transport Economics Note, DETR [2001]

Une représentation plus adaptée à notre sujet est de mettre la durée d'un déplacement, plutôt que la vitesse, sur l'axe des abscisses. On se place par rapport à une distance donnée (dans notre cas d'espèce 100 km.)⁷⁴.

⁷³ La catégorie OGV 1 (Other Goods Vehicles) correspond à des véhicules de marchandises à 2 essieux. La catégorie OGV 2 (Other Goods Vehicles 2) correspond à des Véhicules de marchandise de plus de 2 essieux.

Figure 11 : coûts kilométriques de fonctionnement des véhicules en fonction des durées de déplacement (pour un déplacement de 100 km)



Source : Transport Economics Note, DETR [2001]

Coût de déplacement en fonction de la durée de déplacement

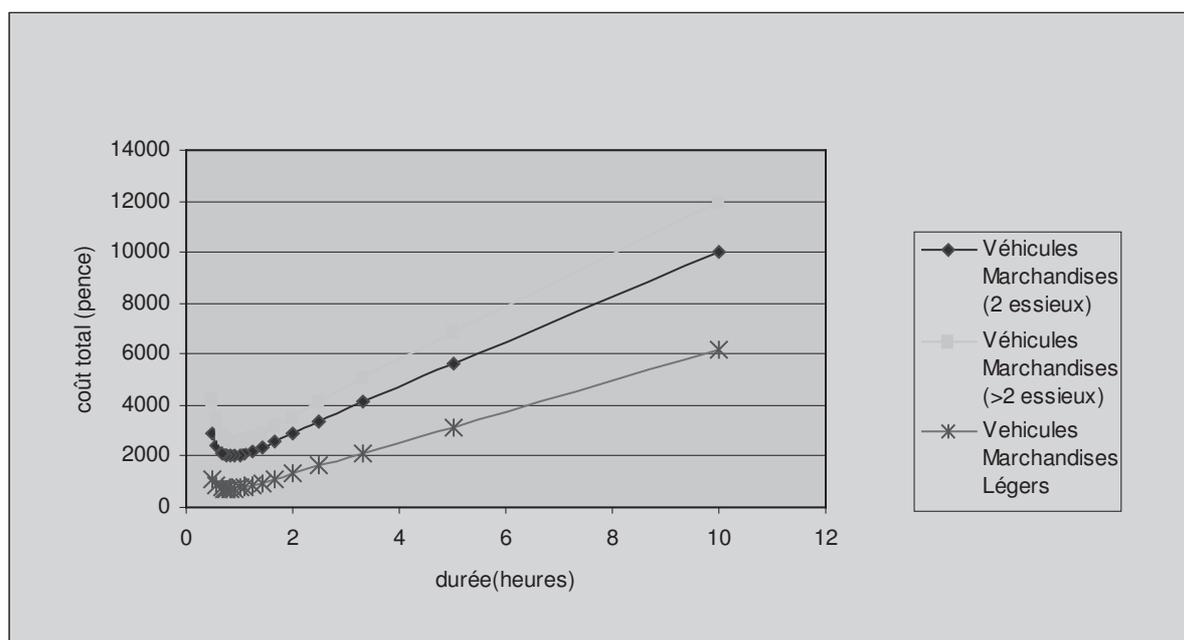
Si l'on fait la somme des "coûts de fonctionnement des véhicules" et de la "valeur du temps des occupants", on peut reconstituer le coût de déplacement. Sur la base des données du Manuel COBA, on peut représenter les coûts de déplacement en fonction des durées qui leur sont consacrées. On trace ainsi la courbe représentative de l'équation :

$$cd(k, d) = w \cdot d + q \cdot d + k \cdot g(k/d), \text{ avec :} \quad (2.7)$$

$c(k,d)$	coût de déplacement,
w ,	coût salarial horaire,
q ,	coût horaire du capital,
k ,	distance de déplacement,
$g(k;d)$,	coût kilométrique variable en fonction des vitesses.

⁷⁴ Evidemment la relation entre durée et vitesse n'est pas linéaire. $v=k/d$, $d=k/v$, soit encore $\delta d/\delta v = -k/v^2$, cela explique que la représentation de la courbe de coût n'ait pas la même courbure dans le repère (vitesse, coût) et dans le repère (durée, coût).

Figure 12 : coût total de déplacement (personnel de conduite + coût d'utilisation des véhicules) en fonction de la durée de déplacement



Source : Transport Economics Note, DETR [2001]

Conclusions sur les coûts de déplacement

Les éléments numériques fournis par le Manuel COBA permettent de mettre au jour certaines caractéristiques essentielles de la relation entre durées de déplacement et coûts de déplacement.

1. Les coûts de déplacement sont variables en fonction des durées de déplacement. Typiquement, en l'absence de contrainte, le coût est décroissant puis croissant en fonction des durées, reflétant une usure ou une consommation de capital circulant qui n'est pas la même selon les vitesses pratiquées.
2. Ce mécanisme invite à introduire le terme de **coût marginal temporel**, pour désigner l'effet d'une unité supplémentaire de temps sur le coût de production du déplacement. Cette notion sera utilisée de nouveau par la suite.
3. Ces mécanismes sont introduits ici en supposant que l'ensemble des vitesses sont disponibles, sans que ce choix ne soit contraint. En réalité, il existera une contrainte sur les vitesses maximales praticables sur un itinéraire. Outre les limitations réglementaires, parfois contournables, il existera des limites physiques liées par exemple à l'encombrement. C'est l'effet des investissements publics sur cette contrainte, qui sera l'objet d'une valorisation dans les analyses coûts-avantages.

Nous voici, avec la présentation du coût de déplacement proposée par le Manuel COBA, passés insensiblement de l'analyse descriptive à l'économie normative. Sur ce point en Grande Bretagne, l'analyse des coûts de déplacement ne se distingue pas des recommandations de l'économie normative : réduction du coût de déplacement et valeur du temps pour la collectivité ne sont pas distinctes.

Voyons ce qu'il en est dans l'analyse coûts-avantages en France.

2.4 L'approche par les coûts en France

On présente tout d'abord quelques éléments sur l'analyse ferroviaire avant de présenter ceux qui concernent le mode routier.

La (non) prise en compte du temps dans les évaluations ferroviaires

L'article 4 du décret 97-444 précise : "*RFF et tenu d'évaluer la rentabilité propre des projets*".

D'un point de vue théorique cette rentabilité devrait prendre en considération les gains des chargeurs et des transporteurs, les gains de l'Etat et ceux du reste de la communauté. L'Encadré 2 reprend ces éléments tels que les présente Philippe Ayoun.

Encadré 2 : les gains de temps dans l'évaluation ferroviaire

On s'intéresse ici en particulier aux gains des transporteurs et des chargeurs qui peuvent s'écrire comme la somme des gains pour le trafic existant et des gains pour le trafic détourné.

- Pour le trafic existant :

$$T^R \times (C_F^P - C_F^R + V_{tF} (t_F^P - t_F^R)), \quad (2.9)$$

- Pour le trafic détourné on utilise l'approximation suivante :

$$\frac{1}{2}(T^P - T^R) \cdot (C_F^P - C_F^R + V_{tF} (t_F^P - t_F^R)), \text{ avec (notations de l'auteur) :} \quad (2.10)$$

T^R	trafic de référence,
T^P	trafic en projet ; on suppose que $T^P - T^R$ est un transfert routier,
C_F^P, t_F^P	coût et temps fer en projet (/train.km),
C_F^R, t_F^R	coût et temps route,
V_t	valeur du temps éventuellement différenciée (V_{tF} et V_{tR} pour prendre en compte un effet qualité).

Source : Ayoun [2000]

Telle est l'écriture canonique. Dans les faits, Philippe Ayoun note que : "*en général on ne sait pas valoriser les éléments marchands (coût et temps) et on néglige leur variation*".

L'usage peut parfois diverger de ce constat général. On trouve dans des études ponctuelles appliquées à des projets d'infrastructures des valorisations des gains de temps. Une étude réalisée en 1996 pour le Ministère de l'environnement, intitulée "*Prospective de la circulation des poids lourds et rentabilité globale du projet d'autoroute ferroviaire*", utilise ainsi une valorisation de l'avantage des transporteurs à hauteur de 523 FF./heure. Cette valeur tombe d'ailleurs fort à propos puisqu'elle permet de rendre positif le bilan, en coût généralisé, du transfert de camions de la route vers l'autoroute ferroviaire. L'étude en question compare cette valeur à celle obtenue par Wynter [1994], sans qu'on sache si elle en est à l'origine : "*la mesure de cette valeur résulte de l'examen du comportement du transporteur routier lorsqu'il choisit entre un itinéraire avec péage et un itinéraire sans péage.*"

Une des difficultés est que le plus souvent les durées de transport ferroviaires sont plus élevées que celles offertes par la route. Souvent les gains de temps permis par les travaux proposés ne permettent pas d'inverser cette réalité. Et ce même lorsque les gains de temps proposés sont importants. En Australie, le Bureau of Transport and Regional Economics⁷⁵ (BTRE) cite ainsi le projet Melbourne to Brisbane inland railway, qui permettrait de diminuer les durées de transport de l'ordre de 25 à 35 heures, et indique :

⁷⁵ Bureau d'Economie Régionale et des Transports.

"même avec cette amélioration la durée de transport estimée était significativement supérieure au transport routier (20 heures)^{xxiii}". BTRE [1999]. Cela peut créer des situations paradoxales, lorsqu'un projet ferroviaire peut arriver à détourner une partie du trafic routier, il se peut que le trafic détourné subisse une perte de temps et donc que la valeur du temps perdu soit comptée comme un inconvénient du projet.

BTCE [1996] cité par BTRE [1999] propose une méthode alternative pour mesurer les avantages d'une réduction des durées de transport : *"l'augmentation du surplus du consommateur qui provient d'une translation vers le haut de la courbe de demande pour le transport de fret par le rail"*^{xxiiii}. On voit ainsi apparaître l'idée d'un déplacement des courbes de demandes des chargeurs qui exprime la "valeur" attribuée par les entreprises aux améliorations du service de transport. Assez intéressant est le fait que le BTRE envisage cette mesure comme une méthode alternative à l'estimation de la baisse des coûts de production.

Nous aurons l'occasion de revenir sur le sens à donner à un tel déplacement des courbes de demande, mais auparavant il nous faut revenir au mode routier qui fournit l'essentiel des applications de la valeur du temps.

L'évaluation routière en France

L'évaluation routière en France est actuellement soumise à une évolution. D'une part, l'estimation des coûts de déplacement constitue un élément pérenne de cette évaluation. D'autre part, une prise en compte de la valeur du temps des chargeurs, en surplus des coûts de déplacement des transporteurs, est aujourd'hui proposée.

Examinons tout d'abord les coûts de déplacement.

Les coûts de déplacement

La prise en compte des coûts de déplacement peut être illustrée par les termes de l'instruction ministérielle : *"méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne"* (Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement [1998]), qui est encore (mais pour peu de temps) en vigueur.

Les coûts de déplacement en fonction des durées de déplacement font intervenir plusieurs éléments. Ces éléments sont présentés dans le Tableau 15. Ils distinguent d'une part, :

- des éléments proportionnels à la durée et comptabilisés comme valeur du temps,
- un coût kilométrique dépendant de la vitesse,
- un coût kilométrique fixe.

Tableau 15 : différentes catégories du coût de déplacement des transporteurs

Catégories de coût	Type de dépenses	Valorisation
Proportionnels à la durée	Temps	168 FF/ véh.heure.
	Dépréciation du véhicule	compté dans la valeur du temps
Coût kilométrique dépendant de la vitesse	Carburant (prix au litre) ⁷⁶ :	3,421 FF94 /litre (dont TIPP 2,20)
Coût kilométrique fixe	Entretien courant, pneumatiques, lubrifiants	0,43 FF94 par véh.km pour les P.L. ⁷⁷

Cette circulaire retient **une valeur du temps de 168 FF94 (25,61 €) /véh.h⁷⁸**. Cette valeur est utilisée pour l'affectation⁷⁹ et pour l'évaluation. Cette valeur a été établie sur la base de calculs effectués par la Fédération Nationale du Transport Routier (FNTR) et repris dans une note du SETRA (30 mai 1995). Cette note est présentée dans l'Encadré 3. Les principales hypothèses sont présentées dans l'encadré 4.

Encadré 3 : calcul de la valeur du temps (SETRA [1995])

La méthode d'estimation est basée sur les résultats de l'enquête nationale FNTR, sur le coût de revient d'un ensemble routier de 40t. Cette enquête couvre une centaine d'entreprises. On cherche à estimer l'avantage économique de l'entreprise lorsque celle-ci réalise un gain de temps de 1 h.

On supposera dans cet exercice que chaque minute gagnée a la même utilité économique. Pour une heure de temps gagnée, l'entreprise pourra faire des économies sur le chauffeur et sur le véhicule. Le gain de temps pourra faire économiser à l'entreprise le paiement d'heures supplémentaires ou de frais de déplacement. Cet élément peut être évalué à partir du salaire du chauffeur.

Mais le gain de temps peut avoir également un effet sur le véhicule. Supposons qu'une entreprise doive effectuer un ensemble de trajets fixé par an avec une flotte de véhicules. Si l'entreprise réalise un gain de temps significatif sur la conduite, elle pourra soit accroître ses rotations soit réduire le nombre de véhicules et faire réaliser aux véhicules restant plus de parcours sans pour autant accroître le nombre total d'heures travaillées. Si une entreprise qui a 10 véhicules fait un gain de temps de 10 % elle pourra assurer le même service avec 9 véhicules chacun parcourant 11% de distance supplémentaire.

Pour une entreprise qui gagne une heure son avantage économique varie de la manière suivante :

1- Chauffeur

1^{er} cas :

On gagne une heure sur la part du salaire consacré à la conduite :

le temps d'utilisation annuel d'un camion est : $7,4 * 222 * 1,036 = 1702^{80}$ h./an.

Le temps de travail est égal au temps de conduite plus le temps d'attente soit : 2530 h/an.

67 % du salaire est affecté à la conduite.

Le coût horaire est donc : $(215216 * 0,67)/1702 = 85$ F/h.

2^{ème} cas :

Si le gain de temps permet d'économiser un chauffeur, l'entreprise gagnera 215 216 FF

⁷⁶ p. 3 : La consommation de carburant est estimée à partir des modèles de l'INRETS.

⁷⁷ Annexe 7 p. 4.

⁷⁸ Le chiffre de 193 FF souvent retenu correspond à l'agrégation des véhicules de transport de marchandises avec les autocars.

⁷⁹ cf. Annexe 5 p. 6, précisant que : "le coût de circulation d qui doit être calculé pour chaque itinéraire emprunté par un "courant" de trafic est défini pour un véhicule VL ou PL par l'expression $d = m + (h \times T) + (i \times L)$.

où : (...) h est la valeur de l'heure du véhicule (...) telle que définie à l'annexe 7."

⁸⁰ Les données d'entrée de ce calcul sont présentées en fin d'encadré.

Soit $215216/1702 = 126$ F/h.

2 – Véhicule

1^{er} cas :

L'entreprise gagne sur tous les postes (assurance, taxes, renouvellement, financement, frais de structure) sauf sur les assurances marchandises soit 238 154 F pour un temps potentiel productif de 2530 heures, soit 94 F/h.

2^{ème} cas :

L'entreprise réalise une économie sur les postes suivants : assurance véhicule ; taxe au véhicule ; renouvellement ; financement (c'est-à-dire les postes précédents à l'exception des frais de structure).

Soit au total $114\ 854 / 2530 = 45$ F.

Au total la valeur d'une heure gagnée est comprise entre :

Véhicule	Gain sur l'ensemble des postes	Gains sur assurances, renouvellement et financement
Chauffeur		
Gains sur temps de conduite	179	130
Gain sur un chauffeur	220	171

En interurbain, les véhicules lourds français effectuent 28 % de leur parcours sur le réseau autoroutier. Si l'on tient compte des poids lourds étrangers en transit, la part du trafic lourd assurée par l'autoroute s'élève à 35,4 %.

Selon les courbes débits vitesse, dans des conditions moyennes, le temps de parcours sur autoroute est de 40 s/km, soit 90 km/h et sur routes nationales il est de 57,2 s/km soit 63 km/h.

En prenant qu'un tiers des parcours se fait sur autoroute, le temps de parcours moyen est de 51 s/km. Soit un gain de temps de 10,8 %. On retiendra par la suite 10%.

Si le gain de temps est de 10 %, l'entreprise devra avoir au moins 10 véhicules pour pouvoir en économiser un en utilisant l'autoroute. De telles entreprises représentent 14 % du nombre total d'entreprises, mais disposent de 68 % du parc de plus de 3,5 Tonnes et réalisent 75 % du chiffre d'affaires du secteur.

En considérant que les parcours sont proportionnels au chiffre d'affaires, on peut en déduire les valeurs du temps suivantes par véhicule et par heure :

- Entreprises ayant moins de 10 véhicules : elles ne peuvent faire une économie que sur le temps de conduite soit 85 F/h.

- Entreprise ayant plus de 10 véhicules : elles gagnent sur le chauffeur et sur le véhicule.

1^{er} cas : gain sur tous les postes liés au véhicule

soit $126 + 94 = 220$ F.

2^{ème} cas : Gain sur tous les postes sauf sur les frais de structure

soit $126 + 45 = 171$ F.

En tenant compte de la répartition du chiffre d'affaires entre les différents types d'entreprises, on obtient une valeur du temps qui oscille entre :

$85 * 0,25 + 220 * 0,75 = 186$ F.

$85 * 0,25 + 171 * 0,75 = 149,5$ F.

On retiendra la valeur de 168 F (soit la moyenne des deux valeurs précédentes).

encadré 4 : hypothèses de calcul utilisées dans SETRA [1995]

Hypothèses de calcul	
FNTR	
40 tonnes :	
Kilomètres / an :	173 127
Frais de déplacement :	42 090
Assurance véhicule :	20 500
Assurance marchandise :	3 460
Taxe au véhicule :	3 500
Renouvellement :	76 451
Financement :	14 403
Frais de structure imputable au véhicule	123 300
	456 831
- Nombre de jours d'utilisation du véhicule par an :	222
- Nombre de chauffeurs par véhicule :	1,036
- Nombre d'heures de conduite par jour :	7,4 h.
- Temps d'attente par jour :	4 h.
- Temps total de conduite :	$7,4 * 1,036 * 222 = 1702$
- Temps potentiel productif du véhicule :	
temps de conduite + temps d'attente =	$7,4 * 222 + 4 * 222 = 2530$

La méthode ainsi utilisée paraît critiquable. De fait, elle repose sur un ensemble d'hypothèses, de simplifications, suscitant des réserves, toutes tenant plus à la nature de l'approche retenue qu'à l'exactitude du raisonnement.

- Les chiffres utilisés comme données d'entrée de ce calcul sont soumis à une large incertitude. Ils proviennent effectivement d'une enquête et sont soumis aux biais de report. Par ailleurs l'échantillon concerné est de faible taille (100 entreprises) ce qui augmente l'incertitude de ces données. Certes l'erreur de mesure qui pèse isolément sur un de ces chiffres ne modifie que faiblement le résultat final, mais la combinaison des erreurs portant sur les différentes données d'entrée peut aboutir à une forte imprécision sur le résultat final.

- Au-delà même de cette incertitude, la représentativité du type de véhicule choisi comme référence peut être remise en cause. "L'ensemble routier de 40 t." s'il contribue pour une part importante au trafic (80 % des t.km. réalisées pour compte d'autrui se font sur des ensembles de plus de 19 t. soit en quasi-totalité des ensembles de 40 t. (SES [1998]), ne peut représenter qu'imparfaitement l'ensemble du transport de marchandises en France.

- D'autre part, certains coûts ne sont pas pris en compte alors que les durées de transport peuvent les modifier. La valorisation par les coûts pratiquée en France, suppose que les entreprises qui ont moins de 10 véhicules ne peuvent pas économiser sur le coût de fonctionnement de leur véhicule "*elles ne peuvent faire des économies que sur leur temps de conduite*", ce qui apparaît contestable.

- Par ailleurs la décomposition des coûts d'exploitation entre coûts variables (fonction de la durée) et coûts fixes est nécessairement arbitraire. Il semble en effet difficile de répondre à la question "*Quels sont les coûts d'exploitation du véhicule qui diminuent lorsque la durée de transport diminue ?*" Il en est ainsi des coûts de structure qui selon deux hypothèses peuvent être ou non considérés comme coûts variables ou comme coûts fixes. Certes l'étude, en distinguant plusieurs "*cas*", permet de prendre en compte plusieurs hypothèses de décomposition mais cette démarche est alors soumise à la critique suivante.

- Les conséquences des gains de temps pour les transporteurs prennent certes en compte différentes situations, mais ces différents "*cas*" rendent mal compte de l'étendue de la réalité pour les transporteurs.

Dans la méthode exposée ci-dessus, on suppose que les entreprises modifient leur utilisation de personnel soit en diminuant d'une heure la durée de travail d'un des salariés, soit en économisant un chauffeur. Cette réponse dichotomique ne correspond pas à la réalité où les entreprises peuvent utiliser l'heure de transport "*gagnée*" d'une multitude de manières : réorganisation des tournées, regroupement de plusieurs destinations, modification de la durée hebdomadaire de travail de certains salariés, modification des heures supplémentaires effectuées.

De même, la dichotomie entre les entreprises de plus de 10 salariés et les autres est introduite sans qu'elle ne corresponde à une discontinuité réelle dans les modalités d'exploitation des entreprises de transport. Cette dichotomie est introduite sous l'hypothèse qu'un gain de temps de 10% permet l'économie d'un véhicule dans les entreprises gérant plus de 10 Poids Lourds. Pourtant cette dichotomie paraît infondée, tout d'abord parce qu'elle repose sur l'hypothèse d'un gain de temps de 10% sans que ce chiffre ne soit étayé ; ensuite, parce qu'il existe plus probablement un continuum dans le comportement des entreprises face à une baisse de la durée des transports qu'un seuil pour un effectif donné.

Ainsi cette méthode pêche parce que pour prendre en compte la diversité de situations des entreprises, elle recourt à des "*cas*" qui - mais comment pourrait-il en être autrement - ne représentent pas l'ensemble du secteur des transports.

- Les différents cas distingués sont agrégés sans que leur poids relatif ne soit toujours pris en compte correctement.

L'imperfection de cette représentation est accrue lorsqu'il s'agit d'agrèger ces différents cas pour obtenir un indicateur représentatif de l'ensemble de la profession. La méthode des coûts de production telle qu'elle est utilisée en France procède le plus souvent en moyennant les coûts correspondant à deux "cas" ou hypothèses, alors que celles-ci n'ont a priori aucune raison de représenter le même poids dans la réalité. Ainsi la valeur moyenne des coûts du véhicule est établie à 168 F par heure en moyennant 2 valeurs, représentative chacune d'une hypothèse (gain sur tous les postes ou gain sur tous les postes sauf frais de structure).

Face à ces faiblesses "internes" du mode de calcul utilisé, on pourrait chercher à comparer les résultats ainsi obtenus à des indicateurs du coût horaire provenant d'autres sources. On pourrait ainsi asseoir la légitimité de ces résultats sur des données externes.

Parce qu'elle repose sur des chiffres incertains, d'une représentativité contestable, puisqu'elle est incapable de restituer la diversité des situations réelles des entreprises, et faute de pouvoir la valider par des données externes, les résultats de la méthode des coûts d'exploitation apparaissent contestables. Faut-il y voir un défaut des calculs utilisés dans l'espèce, ceux-ci pouvant être améliorés en raffinant les méthodes et en améliorant la représentativité des données, ou un handicap immanent à la méthode ? La méthode des coûts de production, semble en fait soumise à un défaut congénital : elle tente de reconstituer un coût moyen représentatif à partir de données qui reposent sur des hypothèses par nature indécidables. Elle nécessite notamment de se fixer des règles d'imputations entre coûts fixes et coûts variables forcément critiquables.

* *

*

La méthode d'évaluation des gains de temps des camions telle qu'elle est utilisée en France repose ainsi sur une estimation des coûts de production. Ceci la rend dépendante d'un certain nombre de simplifications et d'hypothèses.

Au-delà de ces limitations on peut examiner de quelle manière les résultats de cette méthode évoluent dans le temps.

L'évolution de la valeur du temps dans le temps

La circulaire-cadre, en cours d'élaboration début 2005, qui est le dernier avatar d'une longue succession de documents de planification.

- **La circulaire du 20 janvier 1970**, et le manuel d'application du 25 juin 70 (Direction des routes [1970]).

La valeur unitaire de l'heure est estimée à 23 FF69 /véhicule . Ce chiffre est mesuré de la manière suivante : *"pour l'heure de PL, la valeur indiquée est une valeur moyenne, tenant compte de la valeur du temps des chauffeurs et de l'amélioration possible de la rotation des véhicules"*. Plus loin *"la valeur collective a été prise égale à la valeur individuelle"*.

- **l'instruction de mars 1980** (Direction des routes [1980]).

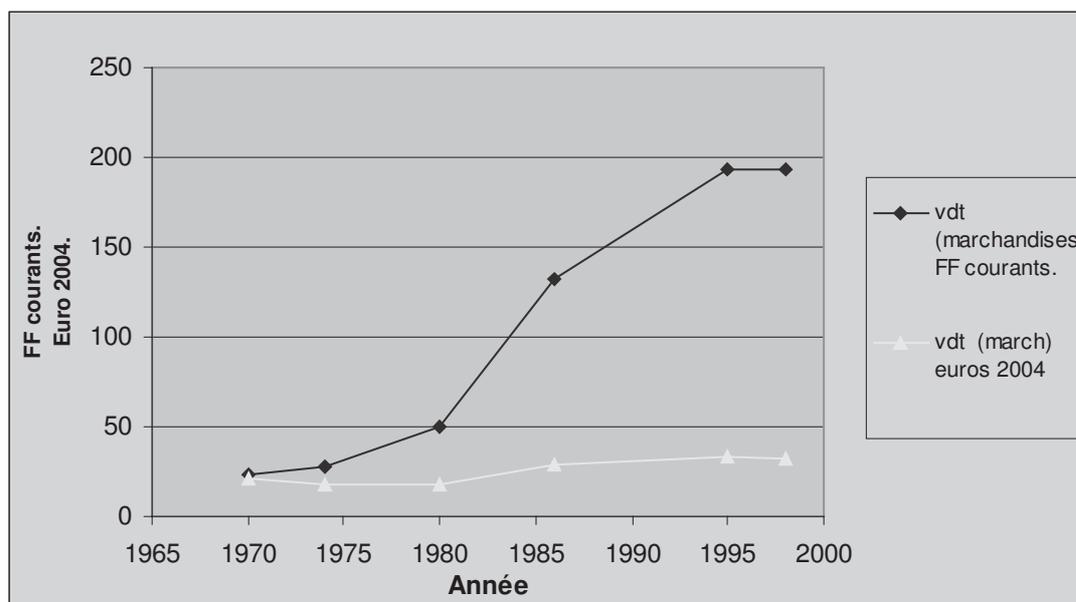
La circulaire du 1^{er} juillet 1980 se référant à l'instruction de mars 1980 sur les "méthodes d'évaluation des effets économiques des investissements routiers en rase campagne" : *"déterminée à partir de données plus récentes, elle (la valeur du temps des poids lourds) est fixée à 32 FF80 pour les VL et 50 FF80/ par heure de véhicule"*.

- **La lettre circulaire du 14 mars 1986** (Direction des routes [1986]).

Contenant l'instruction relative aux méthodes d'évaluation des investissements routiers en rase campagne. Celle-ci fixe la valeur de l'heure de transport de marchandises à 132 FF85.

- **L'instruction du 28 juillet 1995** ⁸¹ modifiant provisoirement l'instruction de mars 86 :
La valeur devient "193 FF par heure et par véhicule pour les PL." 168 FF pour ceux affectés au transport des marchandises.
- **La circulaire de 1998**, qui est, pour peu de temps encore, en vigueur à ce jour.
Celle-ci fixe la valeur horaire du PL marchandises à 168 FF par véh.heure.

Figure 13 : évolution de la valeur du temps marchandises depuis 1970 (FF. courants et euro constants)



On retrace ainsi l'évolution de la valeur du temps en transport de marchandises. Ces chiffres soulignent que la valeur tutélaire connaît une augmentation en euro constants. Il est toutefois possible que cette courbe connaisse dans le futur proche une modification prononcée. En effet, une procédure de modification de cette circulaire est en voie d'achèvement comme en témoigne l'instruction cadre du 25 Mars 2004.

Les évolutions en cours : l'inclusion de la valeur du temps des chargeurs ?

De manière générale, l'instruction cadre du 25 mars 2004 reprend une approche fondée sur le coût de production du service de transport mais y ajoute une composante liée à la valeur du temps pour les chargeurs, ainsi qu'en témoigne l'extrait fourni dans l'Encadré 5.

Encadré 5 : extrait de l'instruction cadre du 25 Mars 2004 (Direction des routes [2004])

Valeur du temps pour le transport de marchandises

La variation des coûts d'exploitation des transporteurs due aux gains ou pertes de temps (liés ou non à une variation de la distance parcourue) sera estimée comme suit :

- pour la route (autocars ou poids lourds) on retiendra une valeur de 31,4 € 2000 par heure : cette valeur n'est pas indexée ; elle devrait donc rester la même en euros constants dans l'avenir : ce qui revient à

⁸¹ L'instruction de 1995 était provisoire car elle n'intégrait pas tous les résultats en cours de collecte sur différents aspects de la monétarisation et notamment la monétarisation des effets externes environnementaux. Elle précisait également "seront intégrés à cette instruction les résultats disponibles des études lourdes en cours (lois débit-vitesse, modèles d'affectation du trafic et valorisation du temps)."

estimer que des gains de productivité compenseront les augmentations de charges dues à un meilleur respect des réglementations routières et sociales ;

- pour le ferroviaire fret, en l'absence d'études spécifiques, on retiendra une valeur de 400 € 2000 par heure de train ; cette valeur incorpore les coûts horaires de traction (locomotives et conduite) et des wagons utilisés ;

- au cas par cas pour les autres modes de transport.

Des valeurs du temps spécifiques aux marchandises transportées (liées aux coûts pour les chargeurs) viennent s'ajouter aux variations des coûts d'exploitation des transporteurs. A titre expérimental, et pour éclairer au mieux les décisions, on fera un calcul complémentaire du bilan socio-économique en intégrant des valeurs du temps spécifiques aux marchandises transportées (liées aux coûts pour les chargeurs) qui viendront s'ajouter aux variations des coûts d'exploitation des transporteurs. Ceci ne peut être qu'expérimental car les valeurs dont il est question ne s'appuient pas encore sur des recherches suffisantes.

Dans le cas général, on retiendra les valeurs moyennes suivantes qui s'appliquent à des trafics hétérogènes :

- 0,45 € par tonne et par heure pour la route, le transport ferroviaire non conventionnel (transport combiné et frigorifique, messagerie, route roulante), les conteneurs maritimes et le trafic roulier ;

- 0,15 € par tonne et par heure pour les autres trafics ferroviaires, maritimes ou fluviaux ;

- 0,01 € par tonne et par heure pour des marchandises en vrac à faible valeur, comme des granulats.

Pour les trafics concernant un nombre très réduit de produits, des études particulières devront être réalisées.

L'évolution de la valeur du temps spécifique aux marchandises sera prise égale aux deux tiers de l'évolution du PIB en volume.

On peut, en prenant en compte les évolutions en cours des pratiques françaises, établir une comparaison entre les procédures d'analyse coûts-avantages utilisées en France et en Grande-Bretagne.

D'un point de vue **descriptif**, ces deux procédures nous fournissent des éléments permettant de représenter la relation coût de déplacement-durée de déplacement. Elles contiennent toutes les deux une **composante non monotone** (décroissante puis croissante) du coût de déplacement, qui se retrouve en Grande-Bretagne dans les "vehicle operating costs" et en France dans la consommation de carburant fonction de la vitesse. Elles sont, en outre, toutes les deux compatibles avec une formalisation du coût de déplacement sous la forme :

$$cd(k, d) = w \cdot d + q \cdot d + k \cdot g(k/d) , \text{ avec :} \quad (2.7)$$

cd(k;d),	coût de déplacement en fonction de la distance et de la durée,
k,	distance,
d,	durée de déplacement,
w,	coût horaire du travail,
q,	coût horaire du capital,
g(k/d),	coût kilométrique en fonction de la vitesse.

D'un point de vue **normatif** elles se recoupent dans la prise en compte des **réductions de coûts de déplacement**. Toutefois avec l'inclusion, dans le calcul économique, telle qu'elle est envisagée en France, d'une valeur du temps des chargeurs, une différence de pratiques se fait jour.

Nous nous concentrerons dans la suite de ce chapitre sur les aspects normatifs ; les aspects descriptifs ne faisant pas apparaître de divergences notables, les différences résidant essentiellement dans les hypothèses de calcul, dans une nomenclature qui n'est pas unifiée, et dans les modalités de mise en œuvre parfois différentes. Si l'on s'en tient aux questions normatives, les divergences concernant la prise en compte de la valeur du temps des chargeurs nous invitent à rechercher d'autres points de comparaison.

Nous proposons alors de présenter une vision d'ensemble des pratiques d'évaluation dans les différents pays européens.

2.5 La valeur du temps dans les autres pays européens

Un examen des valeurs du temps en transport de marchandises dans les différents pays de l'Union Européenne a été réalisé en 1994 pour la Commission Européenne - Direction des Transports (Commission européenne [1994]). D'autres éléments sont fournis par AIPCR [1999].

Le Tableau 16 reprend l'ensemble des résultats réunis par ces études. S'y ajoutent les informations collectées par d'autres sources auprès de certains organismes nationaux en charge des infrastructures de transport.

De fait, trois groupes de pays se distinguent ; ceux qui n'intègrent pas de valeur du temps dans leur évaluation, ceux qui valorisent les gains de temps par les coûts salariaux, ceux enfin qui valorisent ces gains de temps par l'ensemble des coûts de production.

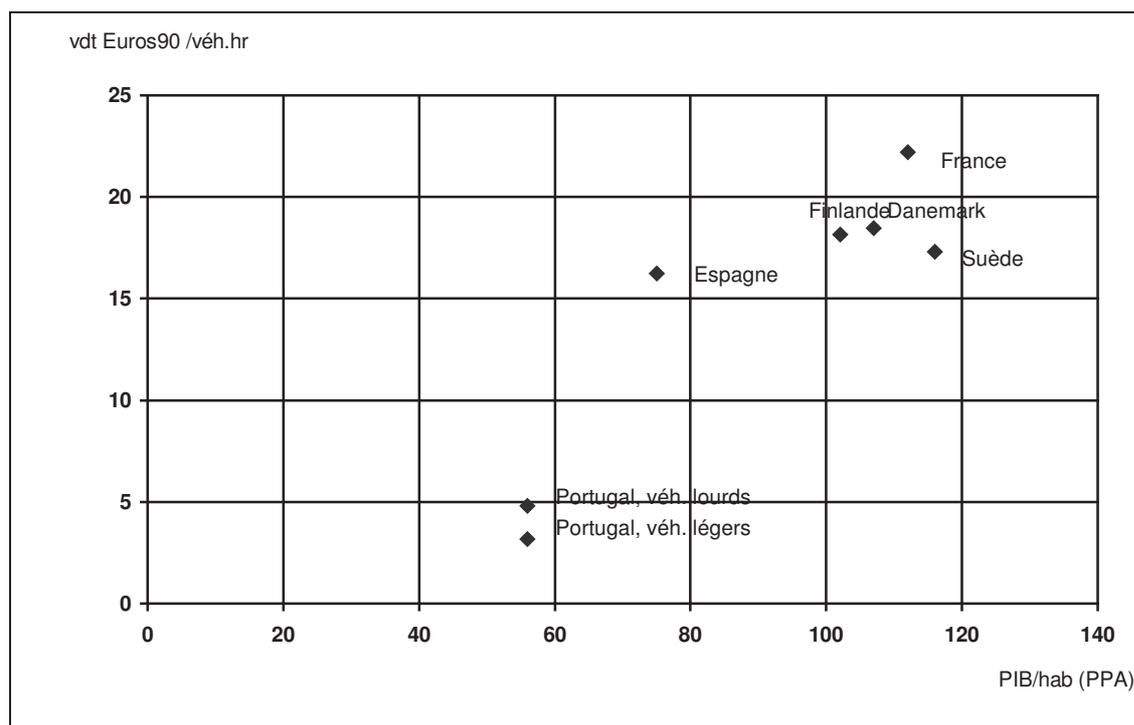
Tableau 16 : valorisation des gains de temps pour le transport de marchandises dans différents pays européens

Pays	Année	Type de véhicule	Valeur en euro 1990 (sauf Finlande 1989)	Méthode d'estimation	Source
Evaluation reposant sur les coûts de fonctionnement					
Danemark	1990	"Lorries".	18,46 euro/véh.hr	Basé sur le salaire horaire des chauffeurs et les frais généraux de circulation.	Danish Highway priority model.
France	1985	Poids lourds.	22,20 euro/véh.hr	Basé sur les salaires des chauffeurs et les coûts fixes ou variables des transporteurs.	
Espagne	1990	"Goods vehicle"	16,23 euro /véh.hr	Calculé à partir du coût d'exploitation.	Ministère des travaux publics et des transports.
Royaume-Uni	1988	LGV 859,00 : p/veh.hr Others GV : 622,5	9,7886 £90/veh.hr	Valeur du temps des conducteurs égale au salaire horaire censé représenter la perte de temps passé dans les transports. Les modifications de vitesse sont également prises en compte au travers des coûts.	COBA 9 / highway economic note 2.
Evaluation reposant sur les coûts salariaux					
Suède	1978		17,30 euro/véh.hr	"La valeur du temps des camions est calculée sur la base de la production perdue, évaluée en terme de prix du marché (coût réel du travail pour l'employeur plus taxes indirectes sur le produit final), le nombre moyen de conducteurs par camion est fixé à 1,3 par hypothèse".	Administration nationale des routes - manuel d'analyse coûts bénéfiques.
Portugal	1989	Véh. commercial léger	3,17 euro/véh.hr	Basé sur le salaire brut moyen horaire, censé représenter la valeur marginale de la production perdue dans l'économie. Ne prend en compte que le temps gagné par le chauffeur.	Ministère des travaux publics des transports et des communications.
		Véh. commercial lourd	4,81 euro/véh.hr		
Finlande	1989	"Trucks"	18,15 euro/véh.hr 1989	Basé sur les coûts salariaux.	Administration des routes et des canaux. Guide d'évaluation.
Pays n'incluant pas systématiquement de valeur du temps en transport de marchandises.					
Allemagne	1985			Au cas par cas.	
Irlande				Pas de valeur du temps pour les camions.	

Source : commission européenne [1994] Euret.

La Figure 14 fournit une représentation graphique de la relation entre PIB par habitant (évalués à parité de pouvoir d'achat) et valeur du temps.

Figure 14 : valeur du temps estimée au coût des facteurs et PIB par habitant (PPA) pour différents pays européens



Source : sur la base de Commission Européenne [1994] Euret.

Un examen similaire à celui réalisé en Europe a été fait par Waters et al [1995] essentiellement dans les pays du nouveau monde : Etats Unis (6 valeurs), Canada (3), Australie (3), Nouvelle-Zélande (1), Scandinavie (1). Les résultats obtenus s'échelonnent de 14 à 35 \$95 pour les observations collectées en Amérique du nord, et de 11,4 \$ à 17,8 \$ pour les autres. A titre de comparaison, on peut aussi Tableau 17 indiquer les valeurs du temps préconisées aux Etats-Unis par le Highway Economic Requirement System [1991].

Tableau 17 : valeur du temps par type de véhicule (dollars 1990 par véh.heure)

Classe de véhicule	Valeur du temps ¹
Automobiles	10.34
Camions à 4 roues	11.74
Camions à 6 roues	22.11
Camions à 3 essieux	25.42
Ensemble à 4 essieux	28.16
Ensemble à 5 essieux	28.33

Cet examen suggère plusieurs observations.

En premier lieu, **la diversité des méthodes de valorisation et des approches théoriques utilisées selon les pays** : absence de valorisation ; valorisation par les seuls coûts salariaux (soit en terme de charge salarial, soit en terme de coût d'opportunité du chauffeur) parfois modulés en fonction de la fiscalité ou encore prise en compte de l'ensemble des coûts de fonctionnement. Avec, au sein même de ce dernier ensemble, des différences importantes dans les coûts pris en compte dans l'évaluation. Lorsque les mêmes composantes sont prises en compte, on note parfois une divergence des motifs ou des justifications théoriques qui sous-tendent la technique mise en œuvre : ainsi des coûts salariaux qui peuvent être comptabilisés soit comme une valeur accordée au temps du chauffeur, soit comme un coût

d'opportunité représentant alors la valeur de la production alternative non réalisée du fait du temps passé (perdu) dans les opérations de déplacement. Il est vrai cependant que l'opposition entre ces deux dernières conceptions pourrait n'être que factice puisqu'elle repose sur un même postulat : le temps passé à conduire un camion est du temps perdu pour les autres opérations productives ; et, d'autre part, elles aboutissent à une même valorisation du temps au coût salarial.

En second lieu, et malgré cette diversité des choix méthodologiques, on observe **la relative cohérence des valeurs du temps avec le niveau de PIB des différents Etats**. Une grande partie des différences de valeur du temps entre pays de l'Union Européenne semble ainsi s'expliquer par les différences de PIB exprimé en PPA (Parité de Pouvoir d'Achat).

En troisième lieu, apparaît le caractère général **d'une monétarisation des gains de temps basée sur les coûts d'exploitation**. En effet, quand les gains de temps des transports de marchandises sont pris en compte, ils le sont sous l'angle des coûts, quelles que soient les différences de définition de ceux-ci, les méthodes alternatives (voir chapitre 3) n'ayant pas droit de cité.

Enfin, conséquence normale de l'approche par les coûts, les modes d'évaluations retenus ne prennent pas en compte, sauf exception, la valeur du temps pour les chargeurs.

Ainsi les méthodes d'évaluation utilisées en Europe aboutissent, malgré des hypothèses parfois fortement différentes, à des résultats relativement cohérents avec les niveaux de richesse nationales. Qu'en est-il dans les organisations internationales ?

2.6 La pratique des organisations internationales, Banque Européenne d'Investissement et Banque Mondiale

Notre intérêt s'est tout d'abord porté vers la Banque Européenne d'Investissement.

L'approche de la valeur du temps par la BEI, une approche empirique basée sur le cas par cas

Il n'a toutefois pas été possible d'obtenir une description précise et unifiée des valorisations des gains de temps pratiquées par cet organisme. Il semble en fait que les évaluations s'effectuent de manière empirique dans une approche au cas par cas dans laquelle le plus souvent une valeur du temps est introduite en reproduisant les pratiques locales ou - mais cela peut le plus souvent revenir au même - "*à dire d'expert*".

On peut toutefois trouver un dénominateur commun aux différentes études de la BEI dans le fait que, là comme ailleurs, les gains de temps en transport de marchandises sont valorisés par l'économie de coût de fonctionnement en coût salarial et en coût d'exploitation des véhicules. Pour les pays de l'Union Européenne la valeur du temps des Poids Lourds est de l'ordre de 20 euro/véh.h⁸² (avec une valeur minimale pour le Portugal de 15 euro /véh.h basée sur les salaires de chauffeurs plus la moitié du coût du capital (dépréciation plus intérêt)). La principale composante de la valeur du temps est le salaire. Dans les pays de l'Est la valeur du temps est plus couramment proche de 10 euro/véh.hr.

De fait, les informations fournies par la BEI n'indiquent que des données générales sur la valorisation des gains de temps. Pour trouver des informations plus précises et une description plus détaillée des méthodologies il faut s'adresser à d'autres organismes. C'est alors la Banque mondiale qui a retenu notre intérêt.

⁸² Valeur en euro pour l'année 2000.

La Banque mondiale utilise une approche par les coûts

Dans l'évaluation des projets qu'elle finance, la Banque Mondiale utilise des données au cas par cas basées sur le contexte local et les estimations disponibles dans les pays concernés. La valeur accordée aux gains de temps pour les transports de marchandises varie ainsi notablement d'un projet à l'autre. Quelques chiffres diffusés par la Banque Mondiale (World Bank [1999]) permettent de saisir cette variabilité : non-valorisation dans certains cas (0\$ pour les camions pour le plan 96-99 du réseau routier national de l'Uruguay) ; valorisation, dans d'autres cas, avec des valeurs fortement hétérogènes : 1,10 \$/véh.h. (St Lucie 1993, route côtière ouest) ou 0,16 \$/véh.h. (Sri Lanka 1990, plan de transport de Colombo).

Au-delà de la divergence apparente entre ces valeurs, la Banque Mondiale s'est proposée une philosophie pour unifier, autant que possible, son approche des gains de temps en transport de marchandises. L'Encadré 6 explique la méthode ou, du moins, la philosophie, qui prévaut pour la valorisation des gains de temps en transport de marchandises par la Banque mondiale

Encadré 6 : la valeur du temps en transport de marchandises selon la Banque Mondiale

"Des études récentes de la valeur des gains de temps pour les véhicules de marchandises aux USA, au Royaume-Uni, au Danemark, en Suède, en Norvège, aux Pays-Bas, en France en Allemagne appartiennent à deux principaux types. La méthode du coût des facteurs implique d'identifier les composantes des coûts des véhicules qui varient en fonction du temps passé (principalement les salaires, les intérêts sur le capital utilisé ou immobilisé dans le matériel roulant et les frais de registre). Les méthodes de Préférences Déclarées impliquent une étude soigneusement circonscrite et permettent de recueillir des sources de valorisation plus subtiles telles que les possibilités de restructuration logistique qui vont de paire avec l'amélioration des performances de transport.

Les résultats empiriques tendent à confirmer cette conjecture. Pour le transport routier, en excluant le transport en vrac, aux Pays-Bas, la méthode basée sur le coût des facteurs valorise les gains de temps à hauteur de 22 ou 24 \$ par chargement en camion entier et par heure aux prix de 1995, à comparer aux valeurs fournis par les études de SP aux environs de 40\$ par envoi et par heure. Les valeurs de SP pour le transport routier en Suède et pour le transport par rail aux Etats-Unis ou au Royaume-Uni, se rapportant à du transport en vrac à longue distance, étaient fortement inférieures. Dans la plupart des pays clients de la Banque (mondiale), on ne dispose pas des éléments pour justifier l'adoption des valeurs les plus élevées. Il est donc recommandé que, en l'absence de données locales, la valeur du temps des véhicules de marchandises soit calculée sur la base du coût des facteurs.

(...)

Lorsqu'il n'est pas possible de calculer des valeurs locales, les bases suivantes doivent être utilisées.

Pour les marchandises et le transport en commun : approche par le coût des ressources = Coût du temps des véhicules + coût salarial du chauffeur + temps des occupants." ^{xxiv}

Source : Gwilliam [1997]

L'extrait cité dans l'Encadré 6 témoigne d'une double interrogation qui était à l'origine de notre démarche : interrogation tout d'abord sur l'opportunité d'utiliser une valeur du temps basée sur le consentement à payer plutôt que sur les coûts de fonctionnement. Interrogation également - en filigrane cette fois, sur la nécessité de centrer l'analyse sur les chargeurs. Reste que, ces interrogations formulées, la Banque Mondiale semble se refuser à une remise en cause de la pratique dominante, la charge de la preuve semblant ainsi revenir à l'approche alternative.

* *

*

L'examen des procédures d'évaluation dans les organisations internationales et dans différents pays européens montre la domination de l'approche basée sur les coûts. Bien qu'elle soit mise en œuvre de manière variée, cette pratique n'est remise en cause que de manière exceptionnelle. Soit par l'amorce d'une évolution dans les pratiques administratives françaises, soit par les interrogations de la Banque Mondiale. A ces deux exemples doit s'en ajouter un autre, qui provient du nouveau monde. En Australie, la valorisation des gains de temps en marchandises est basée, comme ailleurs, sur la prise en compte des coûts d'exploitation. Mais s'y ajoutent des "convenience benefits" définis (Bureau of Transport and Regional Economics [2002]) de la manière suivante : *"moins de dommages pour les marchandises durant leur transport, des stocks de sécurité inférieurs, et des possibilités accrues pour des opérations ayant une forte sensibilité au temps"*^{xxv}. *"Dans le calcul des valeurs du temps pour leur utilisation en Australie, Austroads a supposé que les "convenience benefits" pour une heure économisée étaient égaux à 25 % du coût de fonctionnement horaire"*^{xxvi}. Il est toutefois intéressant de noter que ce "bonus" ne résulte pas d'une estimation, mais d'un "goodwill" forfaitaire : *"le choix de 25 % était arbitraire"*^{xxvii}. Cet exemple constitue une stimulation à poursuivre les recherches à deux titres : d'une part, parce qu'il montre que l'interrogation sur la valeur du temps des chargeurs est partagée ; d'autre part, parce qu'il montre que si l'on s'engage dans cette voie, des analyses approfondies et des résultats numériques précis font encore défaut.

Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons examiné de quelle manière les coûts de déplacement étaient pris en compte à la fois dans l'analyse descriptive et dans l'économie normative.

Du point de vue de l'économie **descriptive**, tout d'abord, notre analyse a concerné successivement les durées de *transport* et les durées de *déplacement*.

Concernant les premières nous n'avons trouvé que peu d'éléments concernant la relation entre durée de transport et coûts des transporteurs. Nous avons par contre obtenus des éléments sur les coûts des chargeurs en fonction des durées de transport. Il s'agit tout d'abord de coûts logistiques à court terme et en second lieu de coût lié à l'organisation logistique à long terme. Sur ce point toutefois la difficulté principale réside dans l'absence de quantifications disponibles de ces fonctions. En particulier, les formalisations, telles que nous les avons présentées sous la forme proposée par Baumol et Vinod, nécessiteraient, pour aboutir à une estimation, de quantifier de nombreux éléments de la logistique d'entreprise.

Concernant les durées de *déplacement*, nous sommes amené à retenir l'existence d'une relation entre durée de déplacement et coût de déplacement. Cette relation contient un élément non monotone (décroissant puis croissant) qui invite à une représentation par une courbe en U. Nous maintiendrons cette représentation dans la suite de ce travail.

D'un point de vue **normatif**, nous avons rencontré une interrogation sur la prise en compte de la valeur du temps des chargeurs. L'exemple de l'Australie, ajouté à celui de la France et aux interrogations de la Banque Mondiale montrent que les pratiques en la matière ne sont pas figées : une évolution se fait jour en faveur de la prise en compte de la valeur du temps pour les chargeurs. Du moins cette évolution appelle-t-elle certaines remarques. D'une part, elle n'a encore touché qu'une minorité de pays. Le Royaume-Uni, qui dispose certainement des procédures d'évaluation parmi les plus détaillées, les plus codifiées, et aussi les plus étudiées, en reste à la valeur du temps basée sur les coûts des transporteurs. Les autres pays européens tendant à suivre la même pratique. D'autre part, la "valeur du temps des marchandises", est de l'aveu même de ceux qui ont favorisé sa reconnaissance, prise en compte de manière très imparfaite, le plus souvent sous la forme d'un "goodwill".

Par ailleurs on constate également une différence de nomenclature qui n'est pas sans importance puisque la notion même de valeur du temps prend un sens différent selon les pays. Alors qu'en Grande

Bretagne le Manuel COBA appelle valeur du temps la valeur du temps des occupants (le coût salarial), en France les circulaires du Ministère de l'Équipement prennent en compte dans cette notion non seulement le coût salarial mais aussi les charges générales de l'entreprise : assurance, taxes, renouvellement, financement, frais de structure, stock de véhicules, dépréciation des véhicules.

Au-delà de ces difficultés de nomenclature, les procédures d'évaluation en vigueur, si on les ramène à notre distinction initiale entre valeur du temps comme *objet*, comme *norme* et comme *mesure*, tendent à unir ces trois dimensions dans un concept unique. Pourtant en ce qui concerne la "mesure" d'autres approches sont disponibles.

Elles sont présentées dans le chapitre suivant.

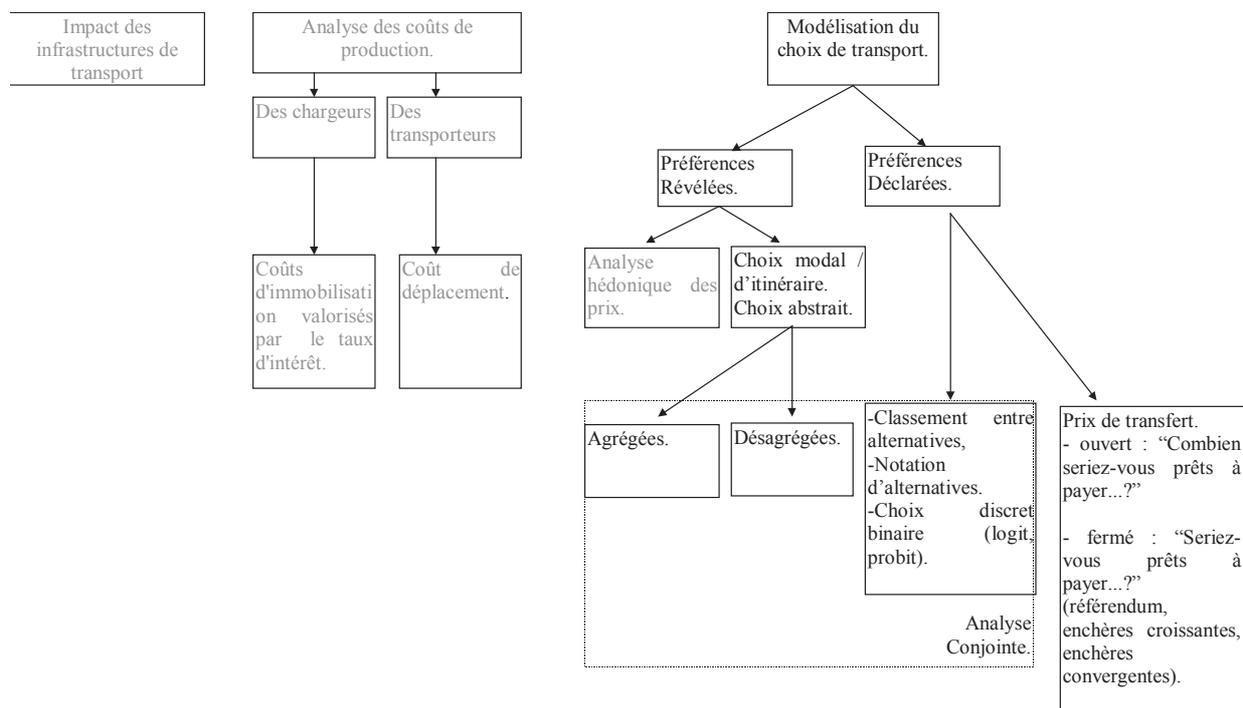
Chapitre 3 : Valorisation des gains de temps en transport de marchandises, méthodes et résultats

Le chapitre précédent nous a permis d'examiner de quelle manière la valeur du temps peut être conçue et mesurée en termes de coûts. L'approche ainsi définie réunit dans une démarche unique l'appréhension de la valeur du temps dans ses trois dimensions : *l'objet* : ce qu'il advient lorsque les durées de *déplacement* diminuent est une baisse des coûts de *déplacement* ; la *norme* : le décideur public valorise les gains de temps permis par un projet d'infrastructure en fonction de ses effets sur les coûts des entreprises, soit, au sens strict, les transporteurs soit, au sens large, les transporteurs et les chargeurs ; et enfin la *mesure* : une connaissance des coûts de ces différentes catégories d'entreprise en fonction du temps est alors apte à fournir une mesure des quantifications.

Or, si l'approche par les coûts est hégémonique en ce qui concerne la connaissance de la valeur du temps *objet* et de la valeur du temps *norme*, elle est concurrencée, en ce qui concerne la valeur du temps *mesure* par d'autres approches.

Le Tableau 20 ci-dessous présente les différentes méthodes de valorisation des gains de temps que l'on a pu recenser. Les méthodes qui sont présentées dans ce chapitre apparaissent en caractères foncés, les autres apparaissant en caractères grisés. On fait figurer dans ce tableau les analyses basées sur le coût de production qui ont été présentées dans le chapitre précédent et sur lequel on ne reviendra donc pas dans ce chapitre. On y fait également figurer des méthodes de mesure basées sur l'impact des infrastructures de transport qui ne seront pas développées dans ce chapitre parce qu'elles n'ont pas, selon les éléments que nous avons réunis, abouti à des résultats quantifiés sur la valeur du temps.

Enfin le tableau nous présente un ensemble de méthodes qui procèdent par la modélisation des choix effectués par les agents économiques dans leurs décisions en matière de transport. On s'attardera en particulier sur les méthodes de Préférences Révélées et de Préférences Déclarées qui représentent l'essentiel des résultats produits dans ce domaine. Ces méthodes résultent de la rencontre entre trois éléments : un paradigme comportemental basé sur l'utilité stochastique ; des données qui se prêtent au calibrage des fonctions d'utilité ; et enfin une procédure d'estimation qui, en se basant sur une hypothèse de distribution des termes stochastiques, permet de mettre en œuvre des techniques d'induction statistique. Nous nous concentrerons principalement sur les deux premiers points, le troisième étant essentiellement un problème de mise en œuvre statistique qui est abondamment présenté dans les ouvrages d'économie des transports (Ben-Akiva et Lerman [1985]).

Tableau 20 : principales méthodes disponibles pour valoriser les diminutions des durées de déplacement

Dans une première partie, on présente le **paradigme de maximisation de l'utilité stochastique** (ou en anglais *Random Utility Maximisation*, abrégé R.U.M.) qui est au fondement de ces méthodes. Ce paradigme ne fournit qu'un cadre de traitement qui nécessite des données quantitatives pour pouvoir renseigner la valeur des paramètres sous-jacents aux préférences des agents économiques. Sur ce point, deux sources de données sont utilisées qui feront chacune l'objet d'un développement.

Ainsi, dans une deuxième partie, on présente l'utilisation des données de **Préférences Révélées** qui estiment ces paramètres sur la base de comportements observés des agents économiques.

La troisième partie est consacrée aux résultats des **Préférences Déclarées** qui constituent aujourd'hui l'outil principal de valorisation des durées de transports.

Dans une quatrième partie on présente les **résultats numériques** auxquels ces méthodes ont abouti.

On précise enfin que les techniques de mesure de la valeur du temps basées sur l'analyse des choix constituent un domaine particulièrement fécond, soumis à un renouveau constant qui ne s'est pas ralenti au cours des dernières années. Notre parti a été de ne pas présenter dans ce chapitre les derniers développements mais de présenter d'abord les travaux au fondement de ces approches, ce qui nous a amené à orienter nos recherches vers les travaux qui ont marqué l'essor de ces méthodes dans les années 70 et 80. Plutôt que de donner une image exhaustive de ce champ disciplinaire, il a été choisi de présenter dans ce chapitre les fondamentaux de cette approche, et de reporter dans le chapitre suivant la présentation de certains approfondissements. Notamment on s'en tiendra durant tout ce chapitre à un modèle à coefficients fixes – ce qui implique que toute la partie stochastique du modèle est reportée sur un terme stochastique additif. Il s'agit là d'un mode simplifié de représentation de l'hétérogénéité dans les

préférences des agents économiques, hypothèse simplificatrice que les approches les plus contemporaines tendent à vouloir abandonner. On traitera ce type d'approche dans le chapitre suivant.

* *

*

1 Le paradigme de la maximisation de l'utilité stochastique

Tandis qu'au début des années 70 il est encore possible, comme le font Caralp, Costa et Libertalis [1970], de présenter les méthodes de valorisation des gains de temps sans faire référence ni aux modèles désagrégés, ni à la notion d'utilité stochastique, ni à la théorie des choix discrets ; une telle tentative relèverait aujourd'hui d'une réelle gageure tant ces notions sont prégnantes dans les analyses contemporaines.

Le modèle de maximisation de l'utilité stochastique a été formalisé par Domencich et McFadden [1975] et McFadden [1974], mais on peut faire remonter la notion d'utilité stochastique à Thurstone [1931]. A l'intérieur même de ces approches à utilité stochastique, Williams [1977] montre que deux formulations de la composante stochastique sont possibles : l'introduction de coefficients distribués ou l'introduction d'un terme de perturbations aléatoire. Il peut être intéressant de noter que l'utilisation des *coefficients stochastiques* est présente depuis plus de 30 ans (cf. Quandt [1968]) dans l'histoire de la modélisation des choix discrets. Pourtant c'est l'autre approche, qui reporte la partie stochastique du modèle sur un terme additif, qui s'est imposée dans les applications les plus courantes de ces modèles.

1.1 Présentation de la R.U.M.

L'idée à la base du paradigme R.U.M. est que les préférences des agents économiques peuvent être représentées par une fonction d'utilité stochastique qui exprime les arbitrages des agents entre attributs d'un bien. En estimant, sur la base des choix réalisés par les agents économiques, les paramètres de cette fonction d'utilité on peut obtenir un équivalent monétaire des modifications des durées de transport.

Cette approche repose sur une formalisation de l'utilité et une formalisation du processus de choix. Examinons un par un ces deux points.

L'utilité

On suppose que les agents en situation de choix modal ou de choix d'itinéraires attribuent une utilité à chacune des alternatives⁸³ disponibles. U_{in} représente l'utilité indirecte conditionnelle de l'alternative i pour l'individu n . Elle se décompose entre une partie *déterministe* (ou *systématique* encore *représentative*) et une partie stochastique :

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in}, \text{ avec} \quad (3.1)$$

i , indice de l'alternative,
 n , indice de l'individu,
 V_{in} , partie systématique de l'utilité de l'alternative i pour l'individu n ,
 ϵ_{in} , partie stochastique de l'utilité.

Cette fonction prend une valeur différente pour chacune des alternatives de transport disponibles en fonction des attributs de cette alternative (temps, coût) et des caractéristiques de l'individu. Dans le cas le plus général la fonction U_{in} peut être définie de manière spécifique à chaque individu, $U_{in} = U_n(X_{in})$; pour l'alternative i et l'individu n . Par exemple si la fonction d'utilité est définie par une combinaison linéaire on aura :

$$V_{in} = \beta_{0n} + \beta_{1in} X_{1i} + \beta_{2in} X_{2in} + \dots + \beta_{kn} X_{kin}, \text{ avec} \quad (3.2)$$

V_{in} , utilité systématique pour l'individu n et l'alternative i ,
 X_{kn} , valeur de la variable k pour l'alternative i pour l'individu n , cette variable peut être un attribut de l'alternative ou une caractéristique de l'individu.
 β_{kn} , coefficient de l'attribut k pour l'alternative i pour l'individu n ,

On se place dans un premier temps, dans une situation plus simplifiée en supposant que la partie systématique de la fonction d'utilité s'écrit de la même manière pour tous les individus. Soit :

$$U_{in} = U(X_{in}) \quad \forall n.$$

Ou encore on suppose dans l'équation dans l'équation (3.2) que :

$$\beta_{kn} = \beta_k \quad \forall n.$$

Cette simplification peut paraître extrêmement contraignante. Toutefois, elle n'est pas aussi restrictive qu'elle paraît dès lors que les variables explicatives X peuvent inclure des caractéristiques socio-économiques propres à l'individu. Cette solution est souvent utilisée en transport de voyageurs, où le vecteur des variables explicatives contient des caractéristiques telles que l'âge, la détention d'un permis de conduire, etc. On pourra ainsi rendre compte du fait que, pour une écriture unique de la fonction d'utilité, une même offre de transport n'a pas la même composante systématique de l'utilité pour deux individus dotés de caractéristiques socio-économiques différentes.

Dotés de cette formalisation, on peut alors chercher les coefficients de la fonction d'utilité qui expliquent au mieux les comportements observés⁸⁴. Ces comportements s'expriment en terme de choix.

⁸³ Dans le contexte de l'économie des transports, et contrairement au bon usage, le terme "alternative", n'est pas entendu comme ensemble des possibilités offertes à un arbitrage, mais désigne chacune des options disponibles.

⁸⁴ Il est possible d'utiliser des méthodes d'ajustement simples telles que les Moindres Carrés Ordinaires (MCO) dans le cas de choix binaires (cf. Ben-Akiva et Lerman [1985] pp. 94 et suivantes).

Pour des choix multinomiaux, l'estimation par le maximum de vraisemblance est difficilement concurrencée, sauf pour des approches agrégées. Dans ce dernier cas, une méthode alternative d'estimation consiste à transformer l'équation canonique du modèle logit sous la forme $\ln(p/(1-p)) = \alpha.X_1 + \beta.X_2 \dots + \epsilon$, formule à laquelle on peut

Ce qui nous amène à introduire le mode de représentation des processus de choix tel qu'il est retenu par le modèle de Maximisation de l'Utilité Stochastique. On cherche alors la valeur des paramètres de la fonction d'utilité qui maximisent la vraisemblance des choix observés.

Le choix

La formalisation d'une fonction d'utilité est un préalable à la formalisation du processus de choix. Les agents choisissent l'alternative dont l'utilité est la plus élevée. Ils choisiront l'alternative i si :

$$U_{in} \geq U_{jn} \quad j \neq i \quad \forall i, j \in C_n, \text{ avec :} \quad (3.3)$$

C_n , ensemble des alternatives disponibles pour l'individu n

La probabilité de choix de l'alternative i est donc :

$$P_{in} = P(U_{in} \geq U_{jn}) \quad \forall i \neq j. \quad (3.4)$$

Soit,

$$P_{in} = P(V_{in} + \epsilon_{in} \geq V_{jn} + \epsilon_{jn}) \quad \forall i \neq j. \quad (3.5)$$

$$P_{in} = P(V_{in} - V_{jn} \geq \epsilon_{jn} - \epsilon_{in}) \quad \forall i \neq j. \quad (3.6)$$

La probabilité de choix de l'alternative i s'exprime donc comme probabilité cumulée de $(\epsilon_{jn} - \epsilon_{in})$ estimée au point $(V_{in} - V_{jn})$. Le modèle devient donc opératoire dès lors que l'on spécifie la loi de distribution des ϵ .

On cherche alors la valeur des paramètres de la fonction d'utilité qui maximise la vraisemblance des observations recueillies. Le **calcul de la valeur du temps** devient immédiat sous la forme **du ratio** entre l'utilité marginale (normalement négative) de la durée et l'utilité marginale (négative) du coût.

$$\text{valeur du temps} = (\delta U / \delta t) / (\delta U / \delta c) \quad (3.7)$$

Si la durée et le coût interviennent de manière linéaire dans la fonction U , la valeur du temps s'exprime alors comme.

$$\text{valeur du temps} = \beta_t / \beta_c, \text{ avec :} \quad (3.8)$$

β_t coefficient associé à l'attribut durée,
 β_c coefficient associé à l'attribut coût.

appliquer les MCO : chaque observation représente (le logarithme du) ratio entre la part de personnes qui choisissent l'alternative 1 et la part des personnes choisissant l'autre alternative. Cette formulation n'est utilisable que si l'on dispose d'un nombre suffisant d'observations ayant les variables explicatives de même valeurs (c'est le cas par exemple lorsque l'on agrège les données par OD) et pouvant ainsi être groupées pour obtenir une proportion. $\ln f(i|A) / f(k|A)$ est un estimateur consistant bien que biaisé de $\ln(p/(1-p))$. Domencich et McFadden [1975] ont démontré que lorsque le nombre de répétitions pour chaque alternative est assez élevé "the bias in least squares estimation is small and the Berkson Theil procedure is to be preferred over maximum likelihood estimate on the grounds of computational efficiency".

Toutefois l'évolution des moyens de calcul et la diffusion des logiciels d'estimation utilisant le maximum de vraisemblance permettent aujourd'hui d'effectuer ces calculs avec une "computational efficiency" satisfaisante. L'estimation par les MCO semble ainsi être tombée en désuétude.

Enfin l'application des MCO est impossible lorsque les probabilités ou les parts modales prennent les valeurs 1 ou 0 (Gujarati [1988]) ce qui sera le cas si on travaille sur des données désagrégées ou si un mode est hégémonique sur une des observations des données agrégées.

Cette expression peut toutefois se compliquer lorsque d'autres caractéristiques du déplacement varient avec la durée et / ou le coût.

Adéquation du paradigme de l'utilité stochastique

Le paradigme ainsi présenté soulève plusieurs points de discussions. Ils concernent, d'une part, la pertinence de la notion d'utilité en transport de marchandises et, d'autre part, les critiques adressées par l'analyse économique à la notion de rationalité (fut-elle stochastique) sous-jacente à ce paradigme.

Il peut en effet sembler paradoxal de considérer qu'on utilise pour l'économie des firmes la **notion d'utilité qui provient de la théorie des consommateurs**. Pour la plupart des auteurs, le passage est direct : Levin [1978], selon Daughety [1979], "*considère des chargeurs qui attribuent une utilité aux modes de transport de manière similaire à celle que les voyageurs attribuent au bus ou à la voiture^{xxviii}*". De manière plus élaborée, Winston [1981] utilise également un modèle de maximisation de l'utilité sous contrainte pour analyser l'activité des firmes de transport : "*la formulation intuitive du problème du destinataire est qu'il maximise l'espérance d'utilité par rapport aux attributs du mode i , dans le modèle, sous contrainte de la quantité à recevoir^{xxix}*"

Au-delà de la question sur la terminologie, liée à l'utilisation du terme "utilité" dans l'économie d'entreprise, le point important réside dans les propriétés du processus de choix sur lesquelles repose l'analyse. On retrouve alors une thématique qui dépasse largement l'économie des transports, et est illustrée, dans l'économie des consommateurs, par les travaux de Tversky et Kahneman. Ce point nécessite un examen plus approfondi. Dans un premier temps, on présente quelques aspects de la rationalité limitée, puis de manière spécifique de quelle manière cette problématique s'applique à notre sujet.

La rationalité limitée

Rosenberger [2001, pp. 4-7] caractérise ainsi les éléments saillants du type de rationalité ainsi construit :

1 – *Value monisme (monisme des valeurs)* : la valeur attribuée par les individus à quelque objet de choix que ce soit est toujours reductible à une unique unité de mesure.

2 – *Value is equal to Willingness to Pay (la valeur est le consentement à payer)* : l'utilité de tout objet de choix est exprimable en terme de consentement à payer.

3 – *Single meta utility function (unique méta fonction d'utilité)* : il existe une fonction d'utilité unique qui permet de mesurer les préférences perçues pour différents objets de choix.

4 – *Self interest (intérêt égoïste)* : les individus effectuent des choix avec l'objectif unique de maximiser leur bien-être, et sont les meilleurs juges de ce qui est bien pour eux.

5 – *Decisions are only cognitively based (décisions basées uniquement sur éléments cognitifs)* : les choix sont effectués sur la seule base de la raison sans considération d'affects, d'habitudes, d'intuitions, d'instincts.

6 – *Utilitarian ethic (éthique utilitariste)* : ne compte que le résultat des actions qui sont en elles-mêmes dépourvues de dimension morale.

7 – *Values and preferences are unambiguous and stable (les valeurs sont stables et dénuées d'ambiguïté)*.

8 – *Marginality (marginalité)* : tous les biens sont divisibles de manière infinitésimale, aucun bien n'est indispensable.

9 – *Free from cardinal conflict (absence de conflits cardinaux)* : la fonction d'utilité est monotone.

⁸⁵ "A la différence de la présentation courante des modèles stochastiques, c'est ici l'espérance de l'utilité qui comprend un terme stochastique, autrement dit l'espérance du terme stochastique n'est pas nulle."

La rationalité ainsi définie est critiquée de manière connue dans le domaine de l'économie des consommateurs par Kahneman et Tversky [1979], March [1978], Kahneman et Snell [1990]. Selon Kahneman et Tversky [1986] *"les écarts des comportements réels par rapport à l' (espérance de l') utilité sont trop répandus pour être ignorés, trop systématiques pour être traités comme une erreur stochastique^{xxx}"*. Les agents ne se comportent pas comme s'ils maximisaient leur espérance d'utilité. On retrouve ici les travaux d'Herbert Simon sur les modalités affaiblies de la rationalité ou *bounded rationality* : *"les erreurs que les personnes font dans l'acquisition et le traitement de l'information sont souvent systématiques^{xxxi}"* (Simon [1982]) qui conduit *"en théorie de la décision à décrire les comportements en termes de satisfaction⁸⁶"* et, en théorie des jeux, *"en termes d'apprentissage, d'automatismes ou bien de (...) rationalité procédurale"⁸⁷*.

Au final, Rotaris [2003] s'interroge : le modèle de choix rationnel a-t-il une valeur descriptive ou seulement une valeur normative en définissant des règles théoriques de bonne gestion ? Cela amène à examiner de quelle manière ces difficultés affectent la représentation du choix des chargeurs ou des transporteurs telle qu'elle est utilisée dans le modèle de maximisation de l'utilité stochastique.

La rationalité des choix pour le transport de marchandises

La question est de savoir comment ces critiques affectent la possibilité de représenter le processus de décision des chargeurs ou des transporteurs sous la forme d'une fonction d'utilité à maximiser. Les difficultés sont ici nombreuses.

Elles concernent tout d'abord la **Multiplicité des intervenants dans le processus de décision** : on retrouve ici la littérature sur "l'organizational purchasing", initiée par Sheth [1976], qui insiste sur la multiplicité des acteurs impliqués dans les processus de décision de l'entreprise. Chacun de ces intervenants est doté d'objectifs propres. La décision finale résulte de négociations et d'interactions entre ces acteurs. La difficulté est alors grande si on veut représenter ce processus par une fonction-objectif unique. Toutefois, Holguin-Veras et Thorson [2003a] nuancent cette difficulté par la possibilité d'intégrer dans une même analyse formelle les décisions des différents agents. Ils montrent que l'hypothèse d'un décisionnaire unique, intégrant les processus d'arbitrage des chargeurs et des destinataires, fournit une bonne "approximation" des comportements observés.

Une deuxième difficulté est liée au faible degré de délibération et au poids des habitudes : Saleh et Lalonde [1972]⁸⁸ montrent que le processus de choix du transporteur par le chargeur est rapide : *"il y a peu de planification et de délibération de la part des chargeurs, lorsqu'ils sélectionnent un transporteur routier^{xxxi}"*. Cunningham et Kettlewood [1976, p. 288] considèrent l'existence d'une *"source loyalty"*, c'est-à-dire un attachement à un fournisseur particulier peu susceptible d'être remis en cause. Ils observent que l'ancienneté moyenne des fournisseurs de transport est de 11 ans. Ce résultat toutefois pourrait avoir évolué fortement depuis ces travaux précurseurs, mais il reste que le modèle de la RUM ne peut écarter des questions que, déjà en leur temps, formulaient Bannister [1976] et Duesenberry [1952]. Ce questionnement reste présent dans des travaux plus contemporains, il se manifeste notamment par l'introduction d'un attribut qui correspond au choix de l'alternative utilisé dans les périodes passées⁸⁹, mais au-delà des dispositifs statistiques que l'on peut utiliser pour en réduire la portée, ces questionnements restent pertinents.

Une troisième difficulté est liée à la faible pression à l'optimisation des décisions. En moyenne les frais de transport ne représentent que 2 à 4 % des coûts de production (avec une forte variabilité selon

⁸⁶ Article "rationalité" du dictionnaire des sciences économiques (Jessua, Labrousse et Vitry [2001]).

⁸⁷ idem.

⁸⁸ Cités par Gray [1982].

⁸⁹ Ce point prête à discussion puisque l'on peut donner plusieurs interprétations à cet attribut. cf. par exemple Gunn [1984].

les secteurs). Cette part réduite ne constitue pas une forte motivation pour la réduction des coûts. Davies et Gray [1980] affirment, par exemple, que 67 % des responsables logistiques interrogés n'avaient pas à travailler dans le cadre d'un budget prédéfini.

Une ultime difficulté est représentée par **les erreurs de perception des décideurs**. Cunningham et Kettlewood [1975], d'une part, Miklius et Casavant [1975], d'autre part, ont ainsi montré comment la perception de la fiabilité du transport ferroviaire par les producteurs états-uniens de cerises était différente des performances réelles de ce système de transport

Face à ces nombreuses critiques, on serait tenté d'abandonner le paradigme de RUM. Mais ne risquerait-on pas ainsi de se priver d'un instrument d'analyse précieux ? La réponse se situe ici à plusieurs niveaux.

Tout d'abord, en constatant qu'à l'intérieur même du paradigme R.U.M., les hypothèses comportementales sont testables. Rotaris [2003] propose ainsi une méthode qui permet de vérifier le caractère rationnel des réponses fournies par les personnes soumises à une enquête S.P. Une des conclusions est alors que le caractère Complet, Réflexif et Transitif des préférences est fortement lié à l'amplitude des variations d'attributs qui sont proposées.

A un second niveau de réponse, on peut prendre une autre perspective sur le modèle RUM, telle qu'exprimée par Mozzanti et Montini [2001] : "*ce n'est pas une théorie du comportement, mais simplement un instrument pour générer et analyser des données comportementales de consommateurs*^{xxxiii}".

A un troisième niveau de réponse, comme l'affirme Rabin [2002, p. 1] "*l'agitation en faveur d'un plus grand réalisme psychologique produit maintenant des résultats*^{xxxiv}". Tout d'abord, on constate que la prise de conscience des limitations du modèle RUM est partagée par ses utilisateurs voire par ses initiateurs (McFadden [1996]). Conséquence de cette prise de conscience, de nouveaux modes d'analyse sont proposés. Swait et Adamowicz [1996b] formalisent une variante du modèle néoclassique capable de neutraliser les distorsions générées par les effets de "framing" et de "context" tels qu'ils ont été mis en lumière par Simon [1986]. On peut aussi citer les modèles par élimination (EBA), dans lesquels les alternatives d'un ensemble initial sont filtrées jusqu'à ce qu'il ne subsiste que l'une d'entre elles. Camerer [1998] propose une méthode de Hierarchical Elimination by Aspects, qu'il situe dans le prolongement de la critique de Tversky [1972]. Cantarella et Fedele [2003] proposent un modèle dans lequel l'utilité d'une alternative s'exprime au travers d'un nombre flou. Dans le domaine de l'économie environnementale, des efforts récents ont tenté d'intégrer l'approche MAUT (Multi Attribute Utility Theory) et les approches cognitives afin de structurer des processus d'élicitation constructifs ou interactifs (Gregory et al [2000]⁹⁰). Hensher [2003] propose un modèle IACE (Interactive Agent Choice Experiment) destiné à rendre du caractère interactif et itératif de la formation des décisions en matière de transport. De manière plus générale, des approches alternatives existent : rationalité procédurale, rationalité expressive ou les "non cognitive motivations". Stigler [1961] propose d'introduire des coûts d'information dans les programmes d'optimisation traditionnels, pour rendre compte des limites informationnelles des agents⁹¹.

A un quatrième niveau de réponse, plus suggestif pour l'économiste, on pourra reprendre la question posée par Thaler [1994, p. 198] "*Préférez-vous être élégant et avoir tort de manière précise, ou approximatif et avoir vaguement raison*^{xxxv}".

Ainsi le paradigme de l'utilité stochastique est un paradigme discuté. Il reste toutefois au cœur des méthodes actuelles de valorisation des attributs du service de transport. L'alternative est alors, soit de se

⁹⁰ Cités par Mazzanti Montini [2001].

⁹¹ Mais Mongin [1984] a longuement critiqué cette thèse de la réductibilité.

⁹² L'utilité attachée à chaque attribut varie de manière non linéaire, mais l'utilité de l'alternative est une somme des utilités de chaque attribut.

placer dans le cadre du paradigme de rationalité tel qu'il existe, au risque d'utiliser une description simplifiée du processus de décision, soit de poursuivre la remise en cause de ce modèle tout en cherchant de quelle manière des estimations de la valeur du temps peuvent être produites dans ce cadre modifié. La quasi-totalité des résultats disponibles s'en tiennent au premier terme de cette alternative. C'est pourquoi nous resterons dans la suite de cette présentation de l'état de l'art dans le cadre de ce paradigme.

Si l'on se place dans ce cadre, on doit alors considérer des questions liées à la mise en œuvre du modèle et en premier lieu à la spécification des fonctions d'utilité. Deux questions se posent. Quelles variables faut-il introduire dans la fonction ? Quelle forme fonctionnelle retenir ?

Quelles variables dans la fonction ?

Roberts [1977] propose de distinguer quatre types d'attributs, il écrit la fonction d'utilité sous la forme :

$$U(T,C,M,R), \text{ avec (notations de l'auteur) :} \quad (3.9)$$

T,	attributs du transport,
C,	attributs du bien,
M,	attributs du marché,
R,	attributs du destinataire.

Ces attributs pouvant être définis soit par leur niveau moyen, soit par leur variabilité.

Au-delà de cette classification, la question est de savoir quels attributs devront être pris en compte. On peut facilement arriver à un nombre très important, à l'instar de Lu [2000] qui liste 33 attributs pour le transport maritime de marchandises. On peut souhaiter rendre la fonction plus manipulable et en considérer un nombre plus réduit. McGinnis [1989] a établi une liste des principales variables prises en compte dans les études de choix modal pour les marchandises : prix, fiabilité, durées, dommages, caractéristiques de la demande sur le marché auquel s'adresse le chargeur, caractéristiques du chargeur (exemple : solidité financière, capacité à transporter des charges importantes), nature du transporteur, caractéristiques des produits. Peuvent s'ajouter les données sur la localisation, les ventes (Winston [1981]) cela permet de prendre en compte l'échelle des opérations logistiques des firmes ainsi que la possibilité de réaliser un transport en compte propre.

Cependant vouloir intégrer l'ensemble de ces dimensions pose des difficultés réelles dans les applications empiriques. On choisira le plus souvent de s'en tenir à un faible nombre d'attributs : en général s'ajoutent, aux durées et aux coûts, des variables concernant la valeur des marchandises ou leur poids. Lorsque les études seront multimodales, on devra également intégrer des données sur l'offre ferroviaire telles que, par exemple, les conditions de raccordement au réseau ferroviaire.

Au final, le choix des variables à introduire dans la fonction d'utilité ne semble pas pouvoir obéir à des recommandations d'ordre général. D'une part, la fonction d'utilité devra prendre en compte les spécificités du contexte étudié et notamment du mode. D'autre part, la possibilité d'introduire un nombre important d'attributs dépendra de manière ultime des données disponibles. De ce fait, la question des variables à prendre en compte sera souvent soumise aux contraintes liées à l'induction statistique et elle sera tranchée en considérant des tests sur chacun des coefficients pris isolément, par exemple sur la base du T de Student ou, à niveau plus général, par un test de χ^2 basé sur la différence de vraisemblance entre deux modèles.

Quelle forme fonctionnelle ?

Outre la définition des variables à prendre en compte, il faut encore déterminer la **forme fonctionnelle** à retenir. Cette question n'est pas sans importance, en raison de la sensibilité des résultats à

la forme fonctionnelle choisie ; sensibilité qui a été constatée aussi bien dans le transport de marchandises que dans d'autres secteurs⁹³.

Tableau 21 : sensibilité de la valeur du temps selon la forme fonctionnelle retenue en FF. 97

	Modèle linéaire	Modèle de Box-Cox
Jeu 1	60	13
Jeu 2 ⁹⁴	130	142

Source : Fridstrøm [1994] cité par Méteyer [2000]

En premier lieu, on doit déterminer si les attributs doivent subir une **transformation mathématique**. Les spécifications non linéaires des fonctions d'utilité représentant les préférences s'appuient sur des résultats empiriques (Weber [1834] ; Fechner [1860])⁹⁵. Mais ceux-ci ont été établis pour les préférences des consommateurs, et sauf à expliciter le lien entre préférences des consommateurs et celles du chargeur, (ce qui n'est pas une tâche impossible pour certains attributs- nous y reviendrons), et à vérifier de quelle manière ce lien peut éventuellement conserver ou modifier les propriétés de (non-)linéarité de l'utilité de ces attributs, ces éléments empiriques ne peuvent pas être probants pour fonder une spécification non linéaire des fonctions d'utilité des chargeurs. Une transformation de type Box-Cox est souvent proposée. Une des justifications est qu'une telle transformation permet de résoudre les problèmes de corrélations entre alternatives. Gaudry et alii [1989] montrent que les valeurs du temps "subjectives" obtenues à partir d'utilités représentatives linéaires dans les modèles logit simples ou hiérarchiques ne sont pas robustes (car très sensibles à l'échantillon retenu) ; elles sont étonnamment élevées et font apparaître une valeur du temps des durées d'attente inversement proportionnelle au revenu. Après transformations des données par un Box-Cox on peut produire des valeurs du temps de signe attendu. Armstrong et alii [2001] montrent cependant qu'un modèle Box-Cox logit ne capture pas l'ensemble des corrélations entre alternatives⁹⁶.

En second lieu, on peut s'interroger sur le **caractère additif** de la fonction d'utilité. Louvière [1988] insiste sur le fait que les "main effect designs"⁹⁷ sont utilisés la plupart du temps. Or, ces méthodes sont sans biais seulement si les utilités réelles sous-jacentes sont additives, ce dont on pourrait douter : "*de nombreuses analyses conjointes dans divers contextes de déplacements (...) ont démontré que la spécification des fonctions d'utilité n'est pas additive*"^{xxxvi}, il cite notamment : Louvière et al [1973], Norman et Louvière [1974], Lerman et Louvière [1978], Norman [1977], Louvière et Meyer [1981]) Certes, Fowkes et alii [2001] observent qu'une spécification quadratique n'améliore pas la qualité d'ajustement du modèle qu'ils calibrent. Ce résultat obtenu avec une méthodologie particulière (modèle LASP, adaptatif, notation transformée en probabilité de choix discrets, et calage d'un modèle logit sur données individuelles) devrait être conforté par d'autres données avant d'être généralisé. En l'absence d'éléments probants de portée générale. On est alors tenté de donner une importante flexibilité à la forme

⁹³ Hanley et alii [1998] ont rencontré la même question dans le domaine des biens environnementaux.

⁹⁴ Le jeu 2 inclut le choix compte propre / compte d'autrui alors que pour le jeu 1 cette variable est fixée à son niveau courant pour l'entreprise.

⁹⁵ On peut ici reprendre les résultats expérimentaux de Weber [1834] généralisés par Fechner [1860]. E. H. Weber a tenté de mesurer le plus petit changement détectable dans des stimuli tels que le poids, la chaleur ou le toucher. Ses expériences ont mis à jour une régularité formalisée par la suite par une autre psychologue, G.T. Fechner sous le nom de loi de Weber "*the relative increase of a stimulus needed to produce a just noticeable change is constant*" [L'augmentation relative d'un stimulus nécessaire pour produire le changement minimal notable est constante]. Une augmentation de la sensation S est une fonction (linéaire) de l'augmentation relative dans le stimulus (R), $dS = c \cdot dR/R$. En intégrant on obtient : $S = a + c \cdot \log(R)$. Soit encore la loi de Fechner que Ellingsen [1994] exprime ainsi : "*The magnitude of sensation is a logarithmic function of the stimulus.*" [L'amplitude de la sensation est une fonction logarithmique du stimulus].

⁹⁶ Ils précisent : "*This persists over and above the non-linear effects allowed for by this specification*" [Cela persiste au-delà des effets non-linéaires autorisés par cette spécification].

⁹⁷ C'est-à-dire que la collecte de données est réalisée en négligeant la possibilité que les préférences des agents économiques soient déterminées par des effets croisés entre les attributs.

fonctionnelle⁹⁸, le risque étant toutefois, si l'on va trop loin dans cette direction, de prendre pour de la non-linéarité ce qui est lié à des imperfections des données.

On voit ainsi que les spécifications de la fonction d'utilité n'appellent pas une réponse de portée générale, ni en ce qui concerne les variables à retenir ni en ce qui concerne la spécification fonctionnelle de l'utilité. Sur ce point, s'il est souhaitable de ne pas imposer un nombre trop important de restrictions a priori sur les fonctions d'utilité, cette exigence doit être mise en regard des risques qu'il y aurait à disposer de trop de flexibilité lors de l'induction statistique.

La partie déterministe de la fonction d'utilité est ainsi l'objet d'interrogations multiples. La pratique dominante s'en tient le plus souvent à une fonction d'utilité additive linéaire. Et, bien que les analystes soulignent la limitation liée à cette pratique, aucune pratique alternative ne semble à ce jour avoir accumulé de résultats favorables suffisamment consolidés pour qu'elle puisse s'imposer.

On aperçoit ainsi les enjeux qui sont liés à la forme fonctionnelle retenue pour la fonction d'utilité, et les débats qu'elle peut susciter. Pourtant ce sont les propriétés de l'autre composante de la fonction d'utilité, la partie stochastique, qui suscitent les développements théoriques et les travaux applicatifs les plus nombreux.

L'introduction de ce terme étant nécessaire pour rendre le paradigme opératoire, il nous faut maintenant le présenter.

1.2 La partie stochastique de l'utilité

L'introduction d'un terme stochastique est justifiée par plusieurs raisons. Bates [1988] distingue trois composantes dans le terme stochastique : les déterminants inobservés du choix modal, les erreurs de mesure au sein des variables explicatives, les erreurs dans la spécification du modèle (ainsi lorsqu'une variable pertinente est incluse avec une relation fonctionnelle erronée)⁹⁹. Ce terme peut aussi rendre compte d'effets plus élaborés : le modèle MNL ne prenant pas en compte la différence de coefficients entre individus ("individual taste variations") celle-ci se retrouve dans les termes stochastiques. Enfin, lorsque l'on utilise des données de SP, Bates [1984] montre que le modèle MNL basé sur des choix discrets (fussent-ils des choix discrets généralisés) repose sur une échelle discrète de réponse (les personnes interviewées doivent donc répondre en fonction de modalités de réponses finies (A plutôt que B)) alors que leur probabilité de choix est continue, ce qui contribue ultérieurement à l'existence d'un aléa sur la fonction d'utilité mesurée.

La spécification d'une loi de distribution du terme stochastique est nécessaire pour rendre le modèle opératoire. Le cadre traditionnel d'analyse est alors constitué par les modèles Probit ou Logit, selon la spécification choisie pour les termes stochastiques.

⁹⁸ McFadden, *handbook of econometrics* [1984].

⁹⁹ On pourrait rajouter, à l'instar de Manski [1977], en tant que cause des perturbations stochastiques, l'utilisation de variables instrumentales, imparfaitement corrélées aux vrais termes explicatifs.

Méthodes logit et probit

Si l'on suppose une distribution normale des termes de perturbations on aura alors une fonction de probabilité de choix de type **probit**. Pour deux alternatives, l'équation (3.6) devient alors :

$$P_{in} = \Phi \left(\frac{(V_{in} - V_{jn})}{\sigma} \right), \text{ avec :} \quad (3.10)$$

Φ distribution normale cumulative.
 σ variance du terme d'erreur.

Soit on suppose une distribution des ε_{in} identique, indépendante, de Gumbell¹⁰⁰ ou de Weibull (ou, cela est équivalent, les $\varepsilon_{in} - \varepsilon_{jn}$ suivent une distribution logistique de paramètres η et μ ; on peut sans perte de généralité supposer que $\eta = 0$)¹⁰¹, ce qui aboutit à une formulation **logit**¹⁰² sous la forme suivante :

$$P_{in} = \frac{e^{(V_{in})}}{\sum_i e^{(V_{in})}} \quad (3.11)$$

Une des particularités des modèles logit est alors que les coefficients obtenus sont contingents au paramètre de distribution des termes stochastiques. Les coefficients intègrent un facteur d'échelle d'autant plus important que la variance du terme stochastique est faible. Cette difficulté disparaît lorsque l'on considère le ratio entre deux coefficients de la fonction d'utilité stochastique, mais elle doit rester présente dans l'analyse lorsque l'on utilise les coefficients pour une prévision.¹⁰³

Le choix entre une spécification de type logit et probit, outre les bonnes qualités analytiques de la première, n'est pas soumis à des critères d'arbitrage définitifs.

Le modèle probit nécessite des hypothèses plus légères sur le terme stochastique, étant donné que cette formulation s'affranchit de l'hypothèse d'indépendance entre les termes stochastiques (Winston [1981]). Sur ce point Daly [1996, p. 12] indique que le modèle logit est approprié lorsqu'une alternative est conçue pour représenter l'agrégation de différentes sous-alternatives, le modèle probit étant quant à lui approprié lorsque la composante stochastique de la fonction d'utilité est vue comme une combinaison de nombreuses composantes.

Plus important, d'un point de vue empirique, les résultats fournis par les deux hypothèses sont presque identiques ; la seule différence pouvant survenir lorsqu'il existe des points aberrants (outliers) auxquels la formulation probit tend à donner un poids supérieur.

Ces résultats, peu différents, ajoutés à une simplicité de manipulation mathématique en faveur du modèle logit, expliquent que ceux-ci soient devenus, en transport de voyageurs, comme en transport de marchandises, l'outil principal d'analyse des préférences des agents économiques. Toutefois les hypothèses à la base de ce modèle, et notamment l'hypothèse de distribution Gumbell identique et indépendante a été jugée trop restrictive. En outre, elle a des conséquences généralement jugées indésirables, ce qui a amené à quelques raffinements de modèle. Examinons à ce point ce qu'il en est.

¹⁰⁰ La spécification e la loi de Weibull de coefficient λ est : $\lambda \cdot (\exp(-\lambda \cdot \varepsilon) \exp(-\exp(-\lambda \cdot \varepsilon)))$. La variance de la variable stochastique est alors : $\sigma = \pi \cdot (\lambda \sqrt{6})^{-1}$.

¹⁰¹ Sur les conséquences de telles hypothèses, et notamment de la plus forte d'entre elle concernant une distribution identique et indépendante des ε_i , voir Ben-Akiva et Lerman [1985].

¹⁰² La littérature distingue parfois le Multinomial logit, qui comprend des variables socioéconomiques et le modèle Conditional Logit qui se limite aux attributs des alternatives.

¹⁰³ Une présentation de ce problème est proposée par Bates [1988].

L'I.I.A. et la modélisation des choix discrets

Une des conséquences de l'hypothèse de distribution IID des termes stochastiques est la propriété d'indépendance des alternatives non pertinentes (que nous désignerons par les initiales anglaises I.I.A. pour Independence of Irrelevant Alternatives). Cette propriété signifie que le ratio de la probabilité de choix de deux modes ne dépend que de l'utilité de ces deux modes. On retrouve ici une forme particulière de l'axiome de choix de Luce [1959].

En relâchant l'hypothèse de distribution indépendante, on peut alors à la fois rendre le modèle plus réaliste en lui permettant de prendre en compte des corrélations entre alternatives, et, concurremment, supprimer la propriété IIA.

Il existe plusieurs sources possibles de violation de l'hypothèse IID (et donc de violation de la propriété d'IIA). L'une d'entre elles est l'agrégation dans un modèle unique d'individus appartenant à des groupes dotés de préférences hétérogènes. Une autre est constituée par les stratégies de choix des agents : *"en particulier, les individus utilisent des stratégies d'élimination et de hiérarchisation qui violent l'hypothèse IIA du modèle MNL"*^{xxxvii} (Louvière [1988]). Des tests, tels que le Lagrange-M-test ou le test de Hausman McFadden (Hausman et McFadden [1984]) permettent de vérifier le respect de cette propriété¹⁰⁴. Le test se base sur la comparaison de la statistique χ^2 pour un modèle contenant toutes les alternatives et des modèles dans lesquels on a retiré une partie des alternatives.

Lorsque l'hypothèse IID est violée, il faut alors soit modifier le modèle par exemple par l'introduction des variables socio-économiques ou utiliser une spécification du modèle de choix plus élaborée que le logit.

Dans cette dernière situation les possibilités suivantes sont offertes :

- Nested Logit (NL) model (McFadden, [1981])
- Heteroskedastic Extreme Value (HEV) model (Bath [1995]),
- Random Parameter Logit (RPL) ou mixed logit (Revelt et Train [1998])
- Multinomial probit (Hausman et Wise [1978]).

Deux, parmi ces différentes techniques ont connu un développement important. C'est, en premier lieu, le Nested Logit (également appelé Tree Logit, Logit imbriqué, Logit hiérarchique). Une des difficultés du modèle imbriqué est qu'il est nécessaire de créer des partitions de l'ensemble des choix en les groupant par sous-ensembles. *"Parfois, il existera une partition naturelle. Mais dans d'autres cas, la partition de l'univers de choix est ad hoc, ce qui conduit au résultat troublant selon lequel les résultats peuvent être dépendants des branches ainsi définies"*^{xxxviii} Greene [1997]. En second lieu, s'est développé le modèle Random Parameter Logit, appelé encore "Mother logit", qui est le plus général et comprend l'ensemble des autres. Nous reviendrons sur ce modèle aléatoire dans le chapitre suivant.

Ainsi, il appert que la composante stochastique de la fonction d'utilité aléatoire, loin d'être un animalcule ajouté à la partie systématique de la fonction d'utilité, est un terme dont les propriétés sont essentielles à l'utilisation du modèle. La difficulté essentielle n'étant toutefois pas de choisir une forme particulière de la distribution des aléas, les hypothèses de Weibull ou de répartition Normale donnant des résultats peu différents, mais de faire des hypothèses appropriées sur les corrélations de ces termes entre les alternatives et entre les individus. Dans ce domaine le recours aux logit hiérarchiques s'est imposé depuis les années 80. Depuis le début du siècle, le développement des modèles à coefficients stochastiques a constitué une autre réponse. Nous ne nous attarderons pas ici sur ces deux modèles, dont la logique reste celle des modèles de choix discrets, le modèle RPL faisant par ailleurs l'objet d'une

¹⁰⁴ Pour différents tests on pourra consulter Hausman et McFadden [1984], McFadden [1987]. Il existe des procédures alternatives au test de Hausman (Fry et Harris [1998], Brooks et al [1997]) qui reste cependant le plus cohérent en présence d'un nombre limité d'alternatives.

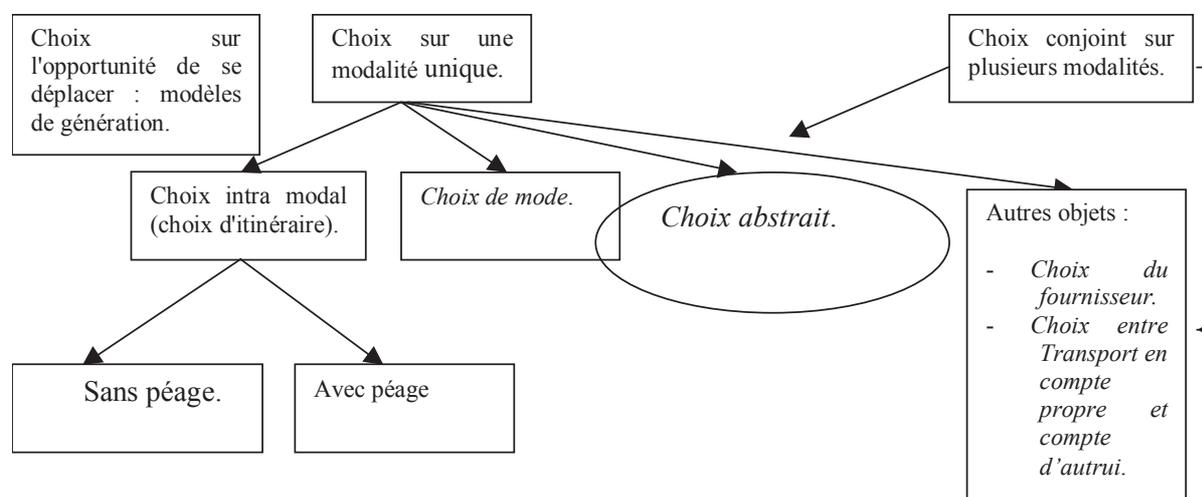
présentation détaillée dans le chapitre suivant. Nous nous attarderons par contre sur d'autres aspects dont la prise en compte peut plus directement et plus fortement influencer les résultats obtenus.

Sur ce point, la définition de l'univers de choix dans lequel on se place pour l'estimation peut avoir des implications importantes. Qu'en est-il ?

1.3 Nature des alternatives : choix abstrait, choix d'itinéraire, choix modal...

La Figure 15 ci-dessous illustre les différentes dimensions de choix qui peuvent être proposées pour la modélisation des choix discrets. On distingue des choix qui portent sur un ensemble de modalités et ceux portant sur une modalité unique.

Figure 15 : l'objet du choix dans les méthodes de choix discret



Prise en compte du caractère conjoint des choix en matière de transport et en matière de logistique

L'opposition, couramment évoquée, entre choix d'itinéraire et choix de mode est limitative. De fait, il faudrait commencer par distinguer les choix qui ne concernent qu'une seule "modalité" du déplacement et celles qui en impliquent plusieurs. Le choix modal est ainsi conjoint à d'autres dimensions telles que la taille de l'envoi, son horaire, la réalisation en compte propre ou par un tiers. Cette liste n'est pas limitative. La pratique la plus courante est de négliger cette dimension conjointe. Winston convient ainsi qu'il doit "supposer" que le choix de localisation est exogène au choix de mode entre la route et le rail. Dans un article de 1981 il affirme que la taille des envois est exogène pour le service logistique de l'expéditeur et pour celui du destinataire : "*lorsque c'est l'expéditeur qui effectue le choix, l'hypothèse est clairement justifiée puisqu'il est obligé d'envoyer la quantité qui est spécifiée dans la commande*^{xxxix}", une hypothèse dont on pourrait toutefois vouloir tester la validité.

Or, il est probable qu'un modèle de choix conjoint produise des résultats différents de ceux obtenus par des modèles plus simples. Winston [1985] note que cette amélioration du réalisme des modèles peut aussi impliquer une modification substantielle des résultats obtenus : "*L'estimation de l'élasticité-prix du choix modal à partir d'un modèle de choix modal, qui traite la taille de l'envoi comme endogène, sera supérieure par rapport à celle obtenue par un modèle (simple) de choix modal. C'est-à-dire que, dans un*

modèle de choix conjoint, l'effet d'une augmentation du prix du rail aura un impact négatif sur la taille (endogène) des envois, toutes choses égales par ailleurs, parce que le chargeur pourra être incité à diminuer la taille des envois en anticipant une probabilité accrue d'utiliser le mode alternatif. De plus, puisque la taille des envois est incluse dans la spécification du mode, cette diminution de la taille des envois réduira la probabilité d'utiliser le rail^{xl}." Ce résultat n'est toutefois pas général, Levin [1978] obtient pour sa part des coefficients comparables entre des modèles agrégés traitant les uns la taille des envois comme endogène, les autres comme exogène.

A l'image des applications de Winston, c'est en général le choix de taille des envois qui a retenu l'attention des économistes comme élément conjoint aux autres choix de transport. On pourra ici citer les travaux de McFadden et alii [1985] ou de Chiang et al [1981]. D'autres dimensions du choix sont proposées par Fridstrøm et Madslein [1994] qui trouvent des valeurs du temps 2 à 3,5 fois plus importants lorsque les entreprises peuvent également choisir entre transport en compte propre ou pour compte d'autrui. On pourra également sur ce point consulter Bolis et Maggi [1999].

Les choix portant sur une modalité unique

Si l'on s'en tient aux situations de choix concernant une modalité unique, plusieurs possibilités de choix sont ouvertes ; les principales : choix d'itinéraire à l'intérieur d'un même mode, choix entre modes et, si l'on peut le distinguer, choix abstrait (ce dernier se différenciant des autres en ce qu'il se définit uniquement par les attributs de l'offre de transport). S'y ajoutent également, mais de manière moins fréquente : choix de destination, choix de vitesse¹⁰⁵, choix de localisation des activités ou encore, comme le suggère de Jong, choix entre transport en compte propre et transport en compte d'autrui, ainsi que choix du fournisseur.

De nombreux résultats ont souligné les différences de valeur du temps selon la nature du choix proposé. Les principales modalités étudiées concernent le choix de mode et le choix d'itinéraire. Mais les conclusions ne vont pas toutes dans le même sens. Hensher [1999]¹⁰⁶, sur la base d'une enquête auprès des voyageurs, conclut : *"les modèles urbains ont produit des moyennes de la valeur du temps, supérieures pour le coût basé sur le péage, à celles obtenues en utilisant le coût basé sur le coût de l'essence^{xi}".* Hague Consulting Group [1995], dans son étude sur la valeur du temps en Grande-Bretagne, indique que les valeurs du temps obtenues dans le modèle de choix d'itinéraire (avec péage) sont très sensiblement inférieures (parfois de moitié) à celles obtenues dans l'exercice abstrait¹⁰⁷.

Sur ce point la question est au moins double : une des modalités du choix permet-elle une inférence plus fiable de la valeur des attributs ? Certaines de ces modalités ont-elles un biais ?

¹⁰⁵ Concernant le choix de vitesse Gwilliam et Mackie [1975] notaient *"the variation of cost with speed is rarely found to be sufficiently large to yield a relevant trade off situation. Moreover the deterrent to increasing speed is often not the increasing cost but the increasing danger and legal constraints such as speed limits"* [La variation du coût en fonction de la vitesse apparaît rarement suffisamment importante pour créer une véritable situation d'arbitrage. En outre, souvent, l'obstacle à une augmentation de la vitesse n'est pas l'augmentation de coût mais le danger croissant et des contraintes réglementaires telles que les limitations de vitesse]. Chui et McFarland [1985] confirment cette hypothèse sur une base empirique, pour les déplacements de voyageurs.

Toutefois, les conclusions de ces auteurs ne peuvent pas être transposées au transport de marchandises sans un examen attentif.

¹⁰⁶ Cité dans Hensher [2001].

¹⁰⁷ Mackie et al [2001] notent que dans l'enquête de Hague Consulting Group, les données de SP avec péage ne fournissent des résultats inférieurs que pour le transport de marchandises, et non pour le transport de personnes.

Choix intramodal

Atkins [1983] souligne les avantages du choix **intramodal** (c'est-à-dire presque toujours un choix entre itinéraires routiers) :

- Le fait d'être à l'intérieur d'un même mode permet de rendre les alternatives plus comparables entre elles. On est plus sûr que le choix s'effectue par rapport aux éléments présents dans la fonction d'utilité.
- Le niveau de service des alternatives est en général mieux connu que pour le choix modal ; et ce, aussi bien, de la part des usagers que de la part du modélisateur.
- Le choix d'itinéraire est moins souvent déterminé par des éléments de long terme ou caractéristiques de l'individu (détention d'une voiture ou d'une place de stationnement, lieu de résidence) qui peuvent jouer plus fortement dans le cas de choix de mode.

Un inconvénient des choix entre itinéraires non payants est, par contre, que les niveaux d'utilité fournis par les différents itinéraires peuvent être très proches. Il faut le plus souvent estimer le niveau de coût monétaire kilométrique, qui rentre dans les fonctions d'utilité, or l'incertitude sur le niveau de ces coûts peut être supérieure à la différence d'utilité obtenue entre deux itinéraires.

L'analyse des choix intramodaux devient plus complexe si l'on considère des **itinéraires payants**. SETRA [1980] distingue ainsi *"une affectation entre routes très sensible au rapport des coûts "moyens", (et) une répartition qui bascule beaucoup moins vite entre route et autoroute : nous ne sommes pas en présence du même phénomène ou plutôt ce sont deux phénomènes distincts qui jouent simultanément"*. Dans le cas d'un arbitrage entre autoroute et route nationale, on a pu dire, mais l'affirmation nous paraît exagérée (cf. infra la définition d'un "mode"), que l'autoroute serait ainsi un autre mode que la route. Comme nous l'indique un des experts du Ministère de l'Équipement *"ce que l'on teste en matière d'infrastructure nouvelle n'est pas de même nature que dans une alternative routier/ autoroutier. La différence de service n'est pas la même."* Un avantage important des choix d'itinéraire avec péage est qu'ils permettent de pallier la corrélation entre coût et durée qui est le plus souvent présente dans les choix d'itinéraire traditionnels. Mais en contrepartie, cela explique que des difficultés propres apparaissent lorsque l'on considère des scénarios entre itinéraires payant ou non payant.

La première difficulté est qu'en cas de scénarios explicitement formulés en termes de péage, le biais politique risque d'être plus important : les alternatives incluant un péage pourraient être plus systématiquement rejetées, conduisant à un biais récessif sur les valeurs du temps estimées.

La seconde difficulté est que la différence entre les alternatives est dominée par le coût du péage, cela signifie par exemple que les différences de coûts dues à des différences de durées de parcours ne sont pas explicitement prises en compte dans l'arbitrage.

Enfin, dans de nombreux pays (mais ce n'est pas typiquement la situation en France), les infrastructures à péages correspondent au franchissement de points particuliers (estuaires par exemple). Les utilisateurs sont alors fréquemment soumis à des situations de choix très proches l'une de l'autre. Cela ne permet pas d'observer la variété de situations qui permettrait à son tour d'obtenir une estimation fiable des valeurs du temps.

Choix intermodal

Concernant l'utilisation de **choix entre modes**, on doit, de manière liminaire, se demander ce qui définit un mode. Est-ce le caractère de long terme du choix effectué ? Ou bien le lien entre le choix modal et des biens complémentaires (existence d'un embranchement ferroviaire notamment) ? Cela est probablement le cas pour certains modes qui nécessitent une infrastructure spécifique disponible dès le départ de l'entreprise expéditrice (notamment ferroviaire et fluvial). Un autre critère valable est-il la technologie ? Cela est probablement vrai, tant les modes se différencient de manière immédiate et souvent

non ambiguë par la technologie utilisée. Enfin on notera que les modes concernés peuvent être plus détaillés que les catégories fer, mer, route, fluvial, air. Des subdivisions peuvent être effectuées : Winston [1981] distingue au sein des transports routiers "regulated freight" et "private carrier" ¹⁰⁸. Au sein du transport ferroviaire, il est d'usage de distinguer entre les envois en trains complets, en wagon entier ou encore en lot ferroviaire.

Quelle que soit la définition que l'on retient du mode, l'étude de la valeur du temps par les choix intermodaux, permet, en rendant explicite le mode, de contrôler une variable susceptible d'influencer les réponses.

Une première difficulté est de savoir qui choisit le mode de transport. On s'aperçoit que l'univers du choix de mode est très "restreint". Du côté de la demande, il est vraisemblable que les chargeurs choisissent un service de transport sur la base des performances qu'il leur offre, plus que sur la base de la technologie utilisée par le transporteur. Si cependant cette technologie peut importer pour le chargeur, ce qui implique un choix modal, il s'agit alors d'un choix de long terme qui se prête probablement assez peu aux exercices de Préférences Déclarées. Quant aux offreurs, ils sont en général captifs d'un mode, sauf opérateurs de grande taille. En transport de personnes, Heggie [1983], en Allemagne, a montré que seuls 10 % des voyageurs sont réellement en situation de choix. Cette situation pourrait être encore plus caractérisée en transport de marchandises, car l'accès au mode alternatif (le mode ferroviaire par exemple) pourrait être plus limité que pour les voyageurs. Dans cette situation, on peut légitimement se demander quelle est la pertinence des résultats obtenus par des Préférences Déclarées sur le choix modal.

Une autre difficulté est que les entreprises peuvent ne pas connaître la qualité réelle de l'offre du mode alternatif. Pour pouvoir correctement calibrer les fonctions d'utilité rendant compte des critères de choix entre mode il faut en effet que les personnes interviewées aient une bonne connaissance des attributs proposés par l'autre mode. Cette condition pourrait ne pas être respectée pour des modes qui ne sont pas utilisés dans l'expérience récente de l'entreprise.

Quelles que soient ces difficultés, il est malaisé de déterminer dans quel sens, et plus encore dans quelle mesure, la modalité du choix joue sur la valorisation de tel ou tel attribut. Le Tableau 22 illustre ainsi comment les valeurs du temps obtenues dans une étude peuvent varier selon le caractère intermodal ou intramodal du choix.

Tableau 22 : différence entre les valeurs du temps intramodales ou intermodales

	Fonction de coût générique	Fonction de coût spécifique au mode	
		Compte propre	Compte de tiers
Intramodal	54 FF99/h.envoi		72 FF99/h.envoi
Intermodal	46 FF99/h.envoi		60 FF99/h.envoi

Source : De Jong, Velay et Houée [2001]

Les méthodes ont des mérites différents mais on ne sait pas dans quel sens peuvent jouer leurs biais. Il faut également souligner que la comparaison est le plus souvent rendue difficile par la faible comparabilité entre les résultats de ces deux méthodes. Dans les modèles de voyageurs toujours, Ben-Akiva et Morikawa [1990a] comparent deux modèles de S.P., l'un interne au rail l'autre entre rail et route. Les valeurs du temps obtenues sont sensiblement différentes : 0,45 NLG90/min (florins néerlandais par minute en valeur 1990) pour le modèle intermodal ; 0,20 NLG90 /min pour le modèle intramodal. Ce tableau laisse donc supposer que les valeurs du temps obtenues sur des valeurs des modèles intermodaux

¹⁰⁸ Cette distinction s'explique par les normes réglementaires alors en vigueur aux Etats-Unis et qui créaient des régimes de concurrence différents pour les transports en camions entiers (Full Truck Load) et les transports en groupement d'envois (Less Than Truck Load).

sont inférieures à celles obtenues sur des données routières. Mais, ici encore, la comparaison est difficile car :

- Le modèle intermode contient une constante spécifique au mode (dotée d'un coefficient négatif) et une variable d'inertie¹⁰⁹ (dotée d'un coefficient positif). L'effet de ces variables sur les valeurs du temps obtenues n'est pas facile à estimer, mais il représente également un obstacle à la comparaison des résultats des deux modèles.
- Ce modèle contient également une variable muette pour les déplacements non liés au motif travail (non work trip dummy). Ce qui implique que la valeur du temps obtenue par le ratio des coefficients de temps et de coût se réfère aux déplacements pour le motif travail.

Les choix abstraits

Une solution pourrait être de recourir à des **choix abstraits** dans lesquels les choix ne sont pas spécifiés en terme de mode ou d'itinéraire mais uniquement par rapport à leurs attributs. Ce mode opératoire peut être assimilé à un choix intramodal implicite. Il est probable que le répondant, en l'absence de données plus spécifiques aura tendance à rester dans le contexte de son mode courant pour prendre en compte les alternatives proposées. On retrouve donc probablement un mode de fonctionnement du questionnaire proche des questionnaires intra modaux.

Les modèles de demande ou de génération : le choix de faire ou de ne pas faire

Enfin, une place particulière est prise par les modèles de génération. L'opportunité d'un déplacement dépend de son coût généralisé. Si le coût généralisé d'un déplacement est supérieur à son utilité, le déplacement n'est normalement pas effectué. Cela suggère d'évaluer une valeur du temps en examinant de quelle manière la réalisation des déplacements est affectée lorsque les durées de transport se modifient. Allen [1977] propose un modèle dans lequel la demande totale de transport de fret dépend du temps. Le temps intervient de deux manières : la durée réduit le coût du transport, la durée augmente les coûts financiers pour le chargeur (Allen suppose que la durée de transport retarde le paiement). Toutefois, les conclusions que l'on peut en tirer en terme d'effet propre du temps sont limitées puisque, pour le premier terme, la durée est prise comme une variable proxy de la qualité de service tandis que, pour le second terme, l'effet des durées de transport sur les délais de paiement est fortement dominé par d'autres aspects contractuels. Enfin, Allen ne calibre pas les coefficients du temps, ce qui empêche, au-delà de la formalisation réalisée d'obtenir, sur la base de cette méthode, des évaluations chiffrées.

On retrouve ici la littérature sur la "demande" de transport. Une difficulté est que la demande n'est pas définie de manière univoque : il peut s'agir de la demande "tout mode" ou de la demande d'un mode particulier : dans ces cas l'élasticité de la demande nous renseigne autant sur les phénomènes de report modal que sur les phénomènes de génération¹¹⁰. Nous n'avons pas identifié d'utilisation de cette méthode dans la littérature¹¹¹.

En conclusion sur ce point, on ne peut que constater l'existence de deux aspirations difficilement conciliables. En présentant un choix le plus ouvert possible, on se rapproche de la situation réelle, on place les personnes interviewées dans une situation où elles ont la possibilité de prendre en compte toutes les conséquences de leur choix. Si, par contre, on restreint les dimensions du choix, on peut mieux isoler le phénomène que l'on veut mesurer mais cet isolement devient une caractéristique du processus de mesure des préférences. La difficulté, si l'on souhaite relâcher cette contrainte, est qu'il devient de plus en

¹⁰⁹ Cette variable vaut 1 pour l'alternative qui correspond au mode effectivement utilisé, 0 pour les autres.

¹¹⁰ Dans la littérature anglo-saxonne le terme "demand" s'applique aussi au choix modal. Cf. Zlatoper et Austrian [1989] et Allen [1977].

¹¹¹ Les travaux qui s'en approchent le plus sont ceux de Oum [1989].

plus difficile, au fur et à mesure que l'on introduit des dimensions de choix, de s'assurer que l'on ne dépasse pas les limites cognitives des agents pour un exercice de choix.

* *
*

La mise en œuvre du paradigme de maximisation de l'utilité aléatoire fait ainsi apparaître une grande diversité dans les modalités de mise en œuvre. Cette diversité concerne, à la fois, le caractère conjoint des choix effectués (typiquement choix de la taille des envois et choix de mode) et, si l'on se restreint à l'analyse d'une seule de ces dimensions, le type de choix à prendre en compte (par exemple : choix modal, choix d'itinéraire).

Ces oppositions sont toutefois secondes par rapport à un choix méthodologique en amont qui concerne le type de données à utiliser pour le calage des paramètres de la fonction d'utilité. On retrouve ici l'opposition entre les données de Préférences Révélées et celles de Préférences Déclarées. C'est tout d'abord en analysant les choix *effectifs* (**Préférences Révélées**) de transport que l'on peut mesurer une valeur du temps. Mais le développement, plus récent, des **Préférences Déclarées**, fournit une autre possibilité d'aboutir à des estimations chiffrées de la valeur du temps pour les chargeurs et pour les transporteurs.

Dans la suite de ce chapitre on présentera ces deux méthodes, leurs différentes variantes, avant de résumer dans un tableau les résultats empiriques auxquels elles ont permis d'aboutir.

2. Les Préférences Révélées

Les techniques de Préférences Révélées permettent de mesurer la valeur du temps en analysant le comportement effectif des entreprises. Elles correspondent à deux approches principales. La première, la plus couramment utilisée en France, analyse des choix de mode ou d'itinéraire, pour retrouver la valorisation implicite des gains de temps. La seconde, plus couramment employée en économie du logement ou en économie de l'environnement, repose sur les régressions hédoniques. Nous nous concentrerons ici sur la première, la seconde qui a un nombre très limité d'applications en transport, sera présentée dans le chapitre 7.

La modélisation des choix révélés peut être répartie selon la nature des données utilisées : données agrégées ou désagrégées. Causse [1999] les différencie ainsi "*un modèle est dit agrégé quand il s'applique directement à l'ensemble des voyages d'une relation, il est qualifié de désagrégé quand il s'applique séparément à différentes catégories de voyages ou a fortiori à chacun des individus ou des voyages isolément.*" Puis définissant des sous-catégories. "*Une partition emboîtée se dessine alors au sein des modèles désagrégés qui amène à distinguer dans un premier temps les modèles par catégorie de ceux concernant explicitement l'unité d'observation ; et, au sein de ce second groupe, les modèles relatifs aux voyages de ceux relatifs à l'individu.*" La dichotomie entre méthodes agrégées et désagrégées n'est pas cependant totalement étanche. Des méthodes de classification ou d'agrégation procèdent ainsi de manière partiellement désagrégée en considérant un ensemble de classes homogènes. On doit alors distinguer le facteur d'agrégation ou de désagrégation. Les possibilités sont alors nombreuses : désagrégation **selon les OD**, selon les types de produits, selon le type de firme ou encore selon la taille de l'envoi ou la longueur de trajet (Wang Chang et Friedlander [1984]). En fait c'est le plus souvent en recourant à la fiction d'agents représentatifs que sont mises en œuvre les méthodes désagrégées, sauf à vouloir utiliser un processus d'énumération complète, coûteux en données et en exploitation.

Est ainsi affirmé un critère de distinction qui départit les modèles désagrégés des modèles agrégés selon le fait que l'unité observée coïncide ou non avec l'unité de décision : d'un côté des flux sont observés sans qu'il n'y ait de décideur pour chacun des flux, de l'autre sont observées les réalisations individuelles d'objectifs de déplacement par l'unité même de décision de ces déplacements. Conséquence logique : les modèles désagrégés sont également ceux qui se prêtent le mieux à une description des mécanismes du choix individuel.

Or, le caractère agrégé ou désagrégé de l'approche n'est pas sans effet. Winston [1985] indique que les élasticités estimées d'après les données désagrégées indiquent un degré de compétition supérieur pour certaines marchandises que les élasticités estimées à partir des modèles agrégés.

Approche agrégée

L'approche agrégée multimodale repose en général sur une réécriture agrégée du modèle logit. par exemple, Oum [1989] propose un modèle additif¹¹² dont l'écriture suivante :

$$\text{Ln} \left(\frac{V_{si}}{V_{sm}} \right) = a_{i0} + \sum_{k=1}^K a_{ik} (X_{ik} - X_{mk}) + \sum_{n=1}^N b_{in} X_n, \text{ avec :} \quad (3.12)$$

$i=1, \dots, m-1,$	indice du mode,
$m,$	mode choisi comme référence pour le calcul,
$V_{si}/V_{sm},$	ratio des parts modales du mode i par rapport au mode $m,$
$X_{ik},$	attribut k du mode $i,$
$X_n,$	$n^{\text{ème}}$ variable commune à tous les modes, qui rend compte de la différence entre tronçons,
X_{mk}	$k^{\text{ème}}$ attribut pour le mode de référence,
a_{i0}, a_{ik}, b_{in}	paramètres du modèle logit.

Un exemple de mesure agrégée de la valeur du temps

De nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine du fret aux Etats-Unis en appliquant cette méthode. Oum [1989] cite Perle [1964], Morton [1969], Kullman [1973], Turner [1975], Boyer [1977] et Levin [1978]. On remarquera toutefois que ces références n'ont pas eu un écho important pour les travaux réalisés lors des deux décennies les plus récentes. Il semble que sur ce point l'approche agrégée ait souffert d'un certain désintérêt. Plus récemment toutefois, Blauwens et Van de Voorde [1988] ont repris cette approche. Ils modélisent ainsi la part modale de la route et de la navigation intérieure en Belgique en fonction des différences de coût et de durée entre les deux modes pour les flux de marchandises à destination du district d'Anvers.

¹¹² Oum [1989, p 166] propose également une écriture dans lequel le terme de droite contient, plutôt que les différences, les ratios des variables explicatives.

Il montre cependant que l'écriture sous cette forme, implique que les résultats empiriques dépendent du mode choisi comme base (dénominateur de la variable expliquée). C'est là une raison pour préférer l'écriture additive.

Le modèle s'écrit ainsi (notations des auteurs) :

$$\text{Log} \left(\frac{AW_{ij}}{AS_{ij}} \right) = \alpha + \beta \cdot (DL_{ij} - DS_{ij}) \cdot \text{Value}_i + \gamma \cdot (PW_{ij} - PS_{ij}), \text{ avec :} \quad (3.13)$$

i	catégorie de marchandise.
j	origine-destination,
α, β, γ	coefficients, le signe attendu de β et γ est négatif,
AW_{ij}	part du fret utilisant la route pour l'OD j et le type de marchandise i,
AS_{ij}	part du fret utilisant les canaux,
DL_{ij}	durée de transport par la route,
DS_{ij}	durée de transport par les canaux,
PW_{ij}	prix de transport pour la route,
PS_{ij}	prix de transport par les canaux,
value_i	prix par tonne pour la catégorie de biens i.

On remarque ici que cette approche n'est pas totalement agrégée puisque les flux de transport sont décomposés par type de marchandise. On retrouve ici confirmation du fait que les modèles ne correspondent pas toujours à un pôle extrême de la dichotomie agrégé / désagrégé, mais le plus souvent à une approche intermédiaire. Si l'on devait toutefois s'en tenir à une définition stricte des approches désagrégées dans lesquelles les unités d'observations correspondent aux agents économiques effectuant les choix étudiés, l'étude de Blauwens et Van de Voorde, évaluée à l'aune d'un tel critère, appartient clairement à l'approche agrégée.

Avantages et limites des approches agrégées

Un des avantages des approches agrégées réside notamment dans la relative accessibilité des données. Les flux par OD sont souvent disponibles dans les bases de données des administrations nationales en charge des transports ; tandis que des données désagrégées nécessitent plus souvent la réalisation d'une enquête ad hoc. Toutefois les modèles de choix modal agrégés ont été fortement critiqués pour deux raisons.

En premier lieu, ils **distendent le lien entre l'unité statistique utilisée pour le modèle et le décideur** réel, tandis que les modèles désagrégés permettent quant à eux d'associer à chaque déplacement les variables explicatives qui s'appliquent proprement à ce déplacement. *"Par exemple, dans le cas du transport de marchandise, on utilise la taille réelle de l'envoi et les caractéristiques réelles du service de transport pour juger s'il est raisonnable de considérer un mode particulier comme un concurrent pour l'envoi concerné. Dans les études agrégées, cette considération est obscurcie puisque les mouvements sont agrégés en parts définis au niveau régional ou national. Dans la procédure d'agrégation, une part significative de l'information concernant la situation concurrentielle est perdue^{xlii}".*

En second lieu, on leur reproche d'avoir un **fondement comportemental ténu**. Oum [1979b] examine un modèle logit agrégé dans lequel le prix intervient sous forme de ratio ou sous forme de différence. Il souligne que le modèle en ratio n'est pas basé sur un modèle microéconomique de comportement (Zlatoper et Austrian [1989]). Une critique que tend à relativiser Winston [1985] : *"Les modèles agrégés ou désagrégés peuvent l'un et l'autre être dérivés de comportements individuels ; la question principale que pose la dichotomie entre données agrégées et désagrégées concerne la nature des données qui ont été employées^{xliii}".*¹¹³ Ben-Akiva et Leerman [1985] montrent ainsi sous quelles conditions le calcul des probabilités individuelles de chaque alternative permet de calculer la proportion d'utilisateur de chaque alternative dans un groupe.

¹¹³ De plus il existe des modèles agrégés comportementaux, tel que le modèle de demande de fret de Oum [1979b] pour lequel les firmes cherchent à minimiser leurs coûts dans leur utilisation des transports.

En troisième lieu, les données agrégées peuvent le plus souvent ne produire qu'un nombre d'observations nettement plus limité que les données désagrégées.

De plus, l'approche agrégée souffre de **limitations calculatoires**. Oum [1979] montre que les résultats d'un modèle basé sur les ratios dépendent du mode qui est choisi comme mode de référence (selon la définition de Oum : "*le mode de référence est le mode qui est présent au dénominateur de chaque équation logit^{xiv}*"). Viera [1992] souligne que l'utilisation d'un modèle agrégé par OD viole l'hypothèse d'homoscédasticité, puisque les termes stochastiques seront d'autant plus importants que l'effectif de chaque OD sera faible¹¹⁴. Une autre difficulté concerne les OD sur lesquels un mode est hégémonique : si (avec les notations de Blauwens et Van de Voorde) $AS_{ij} = 0$ ou 1 (dans ce dernier cas $AW_{ij} = 0$) $\text{Log}(AW_{ij} / AS_{ij})$ n'est pas calculable. Winston souligne quant à lui l'impossibilité de déterminer des élasticités à partir des données agrégées.

Williams [1977, p 297] témoigne d'une déception plus profonde : "*l'approche agrégée, alors qu'en général, elle fournit lorsqu'elle est appliquée à des données zonales, des résultats satisfaisants mais trompeurs en terme d'indicateurs conventionnels de qualité d'ajustement du modèle, a fréquemment abouti, en raison de la perte d'information résultant de l'agrégation, à des modèles dotés d'un faible pouvoir explicatif et d'une faible capacité prédictive^{xlv}*."

L'approche désagrégée

En contrepoint, l'approche désagrégée est basée sur le calage d'une fonction d'utilité stochastique à partir d'observations individuelles.

Causse [1999] résume l'intérêt de cette approche : "*les modèles désagrégés stochastiques nous sont apparus comme le type de formalisation prédisposé au calcul de vits comportementales. A cela plusieurs raisons :*

Recourant à des données individuelles désagrégées, ils permettent de faire appel en amont à des théories comportementales de l'usager. A ce sujet ils s'inscrivent entièrement dans le paradigme de la rationalité économique et de la structure postulée de la maximisation de l'utilité.

Ils retiennent une structure additive séparable de l'utilité qui permet de s'arranger habilement de la nature simultanée des choix en matière de transport. L'inférence sur la valeur du temps peut ainsi légitimement être circonscrite à la seule étude du choix modal^l".

On pourrait ajouter les avantages suivants : possibilité de mettre en évidence des variations interindividuelles des valeurs du temps, ainsi que la possibilité de mettre en œuvre des approches de Préférences Déclarées, sur lesquelles nous reviendrons bientôt.

On ne saurait toutefois établir une hiérarchie de portée générale entre approches agrégées et désagrégées. Les avantages respectifs des deux approches sont analysés par Winston [1985]. Pour certaines applications les approches agrégées sont préférables : ainsi lorsqu'il s'agit de produire une prévision de la demande. Oum [1989] souligne ainsi que l'utilisation de données désagrégées impliquerait un élargissement des intervalles de confiance par l'extrapolation des données de l'échantillon.

Limites des Préférences Révélées

Qu'elles soient agrégées ou désagrégées, les Préférences Révélées offrent un moyen d'analyser la valeur du temps implicite sous-jacente aux choix effectifs des agents. Elles présentent donc l'avantage

¹¹⁴ Un recours est alors de réaliser une estimation en utilisant des moindres carrés pondérés.

d'être directement enracinées dans le comportement observé. En regard de cet avantage, elles présentent toutefois des limites que l'on présente maintenant.

Tout d'abord, il s'agit d'une méthode qui **produit peu d'observations**. En la matière la norme est de retenir une observation ou au mieux quelques observations par unité sondée, ce qui implique que pour obtenir un niveau de précision donné, il faut probablement avoir recours à un échantillon important. Par ailleurs, **la part des non-réponses ou des réponses aberrantes** peut être très importante et sûrement plus importante que pour les Préférences Déclarées dans lesquelles les niveaux des attributs sont spécifiés a priori par l'analyste et donc connus par lui. De Jong, Velay et Houée [2001] notent ainsi que les données recueillies au cours d'une enquête auprès des chargeurs de la région Nord Pas de Calais : *"Pour environ un tiers des envois sélectionnés dans les RP, les informations concernant le temps de transport étaient absentes ou incertaines^{xlvi}".* D'autre part, on a une **difficulté à connaître les attributs de l'alternative non choisie**. Soit que ces données proviennent d'un modèle économétrique ad hoc, soumis à une incertitude, soit que, plus rarement, elles soient collectées auprès des interviewés, ce qui pose alors d'autres problèmes (fiabilité des valeurs reportées pour une alternative non pratiquée, biais d'autojustification dans les valeurs reportées). Ces difficultés, impliquent une forte incertitude sur le niveau des variables explicatives, ce qui ajouté aux corrélations entre variables (Hensher et Hotchkiss [1974]) aboutit parfois à des coefficients de signe contre intuitif (utilité marginale positive du prix ou de la durée par exemple, c'est par exemple le résultat obtenu par de Jong, Velay et Houée [2001]). Ben-Akiva et Morikawa [1990a] constataient pour le choix modal : *"cela n'est pas un fait inhabituel dans l'estimation des modèles de choix modal à partir de données de RP et cela est dû à la faible variabilité de la différence entre les durées de trajet en voiture et en train^{xlvii}".*

Ces deux éléments rendent nécessaires de larges échantillons *"La précision des mesures de la valeur du temps à travers les RP est presque invariablement extrêmement faible en raison de la corrélation élevée qui existe en général entre les attributs de coût et de durée des alternatives concurrentes et du faible contenu en information des bases de données^{xlviii}"* (HCG [1995]).

Conséquence : les coefficients estimés ont une forte variance estimée : *"par exemple, avec 2000 observations, les intervalles de confiance vraisemblables au taux de 95 % ont été établis à +/- 45 %^{xlix}"* (Gunn [1981]). Fowkes [1992] fournit des résultats à peine plus rassurants *"les intervalles de confiance à 95 % des estimations globales de la valeur du temps étaient de plus ou moins un tiers, indiquant que même un questionnaire RP de qualité, avec environ 1000 réponses, produit des estimations plutôt imprécises"*. Ici comme ailleurs l'élargissement de l'échantillon constitue une solution coûteuse, et à l'efficacité marginale décroissante : doubler sa taille ne diminue l'espérance de l'écart type que de 30 %¹¹⁵.

Face aux limitations des RP, ne faut-il pas mieux chercher dans des intentions déclarées les données susceptibles de rendre compte intégralement des préférences des utilisateurs ?

3 Les Préférences Déclarées

Kroes et Sheldon [1988] définissent les Préférences Déclarées (que nous désignerons par leurs initiales anglaises S.P.) comme des techniques utilisant des déclarations des personnes interviewées concernant des alternatives de transport pour estimer leurs fonctions d'utilité.

Les modèles de SP ont été introduits dans le domaine des transports notamment sous l'influence de Louvière et ses associés au début des années 70 (Louvière et alii [1973], Louvière et alii [1974], Norman et Louvière [1974]).

¹¹⁵ Soit $\frac{1}{\sqrt{2}}$

Au sein de cet ensemble, deux techniques principales : l'analyse conjointe¹¹⁶, d'une part, dans laquelle on propose différents moyens de réaliser un déplacement et on estime la valeur du temps sous-jacente aux choix discrets déclarés ; prix de transfert d'autre part, dans lesquels on demande aux chargeurs/ transporteurs combien ils seraient prêts à payer pour obtenir une diminution des durées de transport.

3.1 Les méthodes de choix discrets

On illustre tout d'abord les méthodes de Préférences Déclarées sur la base d'un exemple d'une étude réalisée selon cette méthode "*the UK value of time study*" (Etude de la valeur du temps au Royaume-Uni, HCG [1995]).

Un exemple d'étude sur la valeur du temps, l'étude valeur du temps au Royaume-Uni

Objet de l'étude

L'étude valeur du temps a été réalisée par HCG pour le département des transports du Royaume-Uni dans le but d'évaluer les réactions à la tarification routière. Elle comporte une partie voyageurs et une partie marchandises. Cette dernière est présentée ci dessous.

Réalisation de l'enquête

Dans un premier temps, une prise de contact téléphonique a été réalisée pour identifier les sociétés réalisant du transport de marchandises en compte propre ou pour compte d'autrui. Afin de s'assurer une représentativité nationale, les recrutements ont eu lieu dans les régions suivantes : south-east, West-Midlands, north-east, Yorkshire, north-west. Le tableau suivant indique les effectifs des différentes catégories enquêtées (les effectifs cibles figurent en italique).

Tableau 23 : effectifs théoriques et réels de l'enquête valeur du temps au Royaume-Uni

Type	Transporteurs	Compte propre	Total
Heavy Good Vehicles	118 <i>100</i>	47 <i>50</i>	166 <i>150</i>
Light Good Vehicles	48 <i>50</i>	57 <i>50</i>	104 <i>100</i>

Les entreprises acceptant de participer à l'enquête devaient alors répondre en face à face à un ensemble de questions décrivant leur activité et des envois récemment réalisés. Par la suite deux exercices de Préférences Déclarées leur étaient soumis. Les interviews ont été réalisées entre le 21 nov. et le 19 déc. 94.

Deux jeux de Préférences Déclarées ont été présentés à chaque interview.

¹¹⁶ On parle aussi parfois d'analyse contingente mais ces deux méthodes gagnent à être distinguées. On pourra se référer à Rolfe, Bennet, Louvière [2000, p. 290], ou à Mazzanti et Montini [2001]. Le critère de distinction auquel nous nous tiendrons s'il en faut un est celui du caractère multiattribut qui est une caractéristique de l'analyse conjointe.

1 - Jeu abstrait

Tout d'abord un jeu abstrait dans lequel les attributs connaissaient l'éventail de variation suivant :

- Durée totale du transport : durée actuelle, +15 %, -15 %.
- Coût total de transport : coût actuel, +20 %, -20%.
- Information en temps réel : situation actuelle, panneaux à messages variables.
- Probabilité de retard : situation actuelle, deux fois plus de probabilité (minimum = 5% ; maximum = 100%).

2 - Choix d'itinéraire

Le second exercice concernait un choix d'itinéraire : l'itinéraire payant utilisé est comparé à un itinéraire alternatif non payant.

Tableau 24 : niveau des attributs proposés pour l'enquête vdt au Royaume-Uni

Variabes	Itinéraire payant	Itinéraire non payant
Durée	Durée actuelle +20% par rapport à la route alternative + 10% par rapport à l'itinéraire actuel - 10 %	Durée actuelle sur l'itinéraire alternatif. +10% de la durée sur la route alternative + 20%
Coûts	Coûts actuels + péage	Coûts actuels
Information	Situation actuelle Panneaux à messages variables	Situation actuelle

Modèles estimés

Des modèles différents ont été évalués pour les segments suivants :

- Véhicules commerciaux légers (<3,5 t.), compte de tiers.
- Véhicules commerciaux légers (<3,5 t.), compte propre.
- Véhicules commerciaux lourds, compte de tiers.
- Véhicules commerciaux lourds, compte propre.

Pour chacun de ces segments on estime un modèle logit pour l'exercice de choix abstrait et pour l'exercice de choix d'itinéraire. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Coefficients estimés par le modèle Logit pour l'exercice de choix abstrait.

Segment :	LGV cte tiers		LGV cte pr.		HGV cte tiers		HGV cte pr.	
Modèle 6-1								
obs :	362		425		812		381	
Log L	-209,8		-237		-458		-226	
$\rho^2(C)$	0,160		0,193		0,182		0,137	
	Coef.	T.	Coef.	T.	Coef.	T.	Coef.	T.
Coût (/100p)	0,047	(-6,4)	-0,12	(-6,6)	-0,033	(-10,5)	-0,075	(-6,3).
Coût (p/p)	1,0	(*)	1,0	(*)	1,0	(*)	1,0	(*)
Durée (p/mn.)	43,49	(5,4)	35,54	(6,4)	47,11	(8,4)	35,51	(4,6)
Probabilité de retard (p/%)	99,6	(3,8)	30,5	(4,3)	79,06	(4,8)	24,48	(2,3)
Retard * PMV (p/%)	-2,7	(-0,3)	1,41	(0,4)	10,63	(1,7)	1,802	(0,4)

Coefficients estimés par le modèle Logit pour l'exercice de choix d'itinéraire (payant / non payant).

Segment :	LGV cte tiers		LGV. cte pr.		HGV. cte tiers		HGV cte pr.	
Modèle 6-3								
Obs :	273		337		631		311	
Log L	-98,4		-153,7		-233		-98,5	
P²(C)	0,383		0,237		0,241		0,273	
	Coef.	T.	Coef.	T.	Coef.	T.	Coef.	T.
Coût (/100p)	-0,1728	(-5,9)	-0,179	(-6,1)	-0,063	(-6,9)	-0,12	(-3,6)
Coût (p/p)	1,0	(*)	1,0	(*)	1,0	(*)	1,0	(*)
Durée (p/mn.)	15,08	(4,7)	17,7	(3,9)	20,47	(4,3)	59,3	(3)
PMV	-4,2	(-2,0)	-0,86	(-0,5)	-3,9	(-1,1)	3,97	(1,3)
Constante pour l'itinéraire utilisé actuellement								
Autoroute	-1,25	(-0,4)	0,18	(0,1)	0,53	(0,1)	5,4	(1,2)
Routes nationales	-3,4	(-1,6)	4,6	(2,5)	-7,5	(-1,7)	0,31	(0,1)
Itinéraire urbain	1,5	(0,8)	-1,35	(-0,9)	-9,46	(-1,5)	-2,13	(-0,6)

Au-delà de cet exemple, on se doit de s'interroger sur le réalisme des résultats fournis par un exercice purement déclaratif, l'ensemble de ces travaux supposant en effet la capacité de Préférences Déclarées à représenter de manière fiable un comportement réel.

La production scientifique consacrée aux Préférences Déclarées est extrêmement prolige. Elle traite aussi bien des méthodes de construction des questionnaires, de la crédibilité de résultats obtenus dans un contexte hypothétique ou de l'analyse économique des résultats empiriques qu'elle produit.

Le premier thème a donné lieu, à lui seul, à une production scientifique abondante où les champs de l'économie des transports rejoint celui de la psychométrie et de la statistique inductive. Nous présenterons dans le chapitre suivant quelques thématiques qui illustrent ces problématiques.

Le second thème a été traité, lui aussi, abondamment dans la littérature et aboutit à des conclusions diverses selon les auteurs. Nous présenterons ci-après les principaux arguments liés à cette interrogation qui nous paraît première par rapport aux autres autant il semble "antinaturel" de se baser sur des intentions déclarées plutôt que sur des comportements observés. Nous proposons donc de nous attarder autant que de besoin sur cette question.

La crédibilité des SP

On examine ici les principales difficultés portant sur les fiabilités des Préférences Déclarées : tout d'abord, les difficultés statistiques ; puis, les limites inhérentes au processus expérimental ; ensuite : le caractère hypothétique des préférences ainsi élicitées ; enfin, les éléments de validation.

Des problèmes statistiques surmontables

On illustre les difficultés statistiques sur un exemple lié à la **dépendance entre observations**, ou ce que l'on appelle parfois le problème des observations répétées (répétition des mesures sur un même individu). Les observations répétées sur un même individu violent l'hypothèse de distribution indépendante des termes stochastiques. Louvière et Woodworth [1983]¹¹⁷ suggèrent ainsi que "*les mesures répétées sur un même individu provoquent probablement une sous-estimation de l'écart-type des paramètres*". Les conclusions tirées des tests de nullité sont alors erronées.

Une approche parfois proposée est alors de multiplier les écarts type par la racine carrée du nombre de réponses fournies par chaque personne interviewée. Différentes autres solutions ont été proposées. Par exemple une méthode de "matrice ajustée" pour laquelle on pourra se référer à McFadden [1996] Une autre solution proposée par Ouwersloot et Rietveld [1996] est d'estimer des modèles séparés pour chaque rang de réponse. On groupe ainsi les premières réponses de tous les individus, puis les secondes, etc. Cela permet de n'avoir dans chaque modèle qu'une seule occurrence de chacun des individus. Par la suite il faut appliquer une méthode d'agrégation de ces différents modèles. Une autre méthode d'ajustement peut être basée sur une technique de Jackknife ou de Bootstrap. Cirillo, Daly et Lindveld [1996] donnent l'illustration d'un tel traitement. Sur une simulation ils constatent que :

- Les estimations des coefficients de la fonction d'utilité logit ne sont pas biaisées par l'existence d'observations répétées.
- Les estimateurs des variances des coefficients sont biaisés (biais récessif).
- Introduire un coefficient spécifique à l'individu laisse subsister un biais.

¹¹⁷ Cités par Bates [1988].

- Les techniques de rééchantillonnage, de type Bootstrap et Jackknife, permettent de retrouver la valeur des variances des coefficients. Ils aboutissent l'un et l'autre à des résultats comparables, mais le Jackknife pourrait être plus aisé à utiliser.

On voit ainsi quel type de problèmes statistiques peuvent rencontrer les approches de Préférences Déclarées. Mais en même temps ces difficultés apparaissent surmontables. Ces difficultés statistiques ne sont pas celles qui ont nourri le plus de critiques à l'égard des méthodes de Préférences Déclarées. C'est essentiellement pour leur caractère fictif que ces données ont été critiquées. Ce qui donne lieu à deux types de critiques. Celles, tout d'abord, liées aux défauts du processus expérimental (nombre réduit d'attributs, framing effect), celles, ensuite, liées au caractère fictif des réponses collectées.

Les limites du processus expérimental

Une première difficulté est liée au nombre d'attributs entrant en compte dans les alternatives proposées. A l'exemple de Lu [2000], nous devons constater la multitude des attributs du transport. Devant la difficulté à introduire plus de quelques attributs dans l'exercice, des approches interactives un peu plus élaborées ont été proposées. Par exemple une approche d'Adaptive Conjoint Analysis, mais cette approche nécessite de définir une utilité pour les attributs non sélectionnés. Calzada [1998] propose une solution alternative qui *"consiste à décrire les processus de sélection précédant chaque exercice SP grâce à une procédure de choix conditionnel à deux niveaux "tree logit". Le premier niveau de choix permet le choix d'un attribut dans l'ensemble des choix disponibles, le second concerne le SP proprement dit. Une autre solution est d'utiliser une approche hybride SP et une approche de rating (sur des échelles de valeur) à cette fin un attribut commun aux deux exercices est inclus ; il jouera le rôle de facteur de conversion entre les deux approches. Enfin, une troisième alternative existe, elle vise à décomposer le nombre d'attributs en autant de SP soutenables avec entre chaque SP un attribut de passage commun"*.

Une seconde difficulté est liée à l'effet de la construction du questionnaire sur ses résultats. Cette problématique se décline de deux manières. Tout d'abord par **l'influence des valeurs des attributs sur les résultats**. Bates [1984] mène un SP en compartimentant les exercices en deux ensembles. Chaque ensemble est caractérisé par des valeurs différentes pour l'attribut durée. Or, les résultats montrent une différence significative entre les valeurs du temps obtenues sur chaque ensemble de données. Ce résultat pourrait remettre en cause la cohérence des préférences mesurées dans un exercice de SP, mais sa portée est relativisée si l'on admet que la valeur marginale d'un attribut pourrait ne pas être constante (thème de la linéarité de la valeur du temps), auquel cas la capacité du modèle à reproduire une différence de valeur (moyenne) du temps serait à mettre à son crédit. Un examen plus systématique **de la variabilité des résultats** est réalisé par Widlert [1994] qui montre comment les valeurs du temps peuvent varier selon le mode de passation du questionnaire de Préférence Déclarée. Il arrive à la conclusion que le "format" des attributs (qui peuvent être exprimés soit sous forme de différence relative soit sous forme de différence absolue) est un des principaux facteurs pouvant expliquer une différence dans les valeurs du temps estimées.

Ces critiques nous amènent progressivement vers celles les plus importantes adressées aux Préférences Déclarées et liées à leur caractère hypothétique.

Caractère hypothétique

De manière plus profonde, c'est le caractère hypothétique des données collectées qui est remis en cause. On parle alors de biais hypothétique (sans que l'on puisse strictement déterminer dans quel sens il joue). D'où l'expression de "wish data" donnée par certains économistes à ces données. Constatant le caractère fictif des Préférences Déclarées, Kroes [1988] cite Lin et alii [1986], et Van der Hoorn et Van Hoek [1984] : *"dans des conditions expérimentales les individus surestiment leurs réactions"*.

Une manière de présenter ce problème est d'affirmer que l'on est en présence d'une erreur dans la variable expliquée ; soit que l'on affirme que les données collectées concernent un choix hypothétique et non le choix réel, soit que l'on suppose que l'on observe un choix déclaré en fonction d'une fonction d'utilité "mal perçue" : les personnes interrogées répondant en fonction d'une pseudo-utilité \hat{U} et non de leur réelle fonction d'utilité U . On peut alors utiliser la notation suivante : $U_i = V_i + \varepsilon_i = \hat{U} + \eta_i$. Dès lors on peut affirmer : *"nous faisons des estimations des préférences relatives telles qu'exprimées dans une expérience de SP plutôt que de ce qui se passerait sur un marché^{li}."*

Globalement on retrouve ici une méfiance de la science économique envers les données qui ne proviennent pas de "comportements". Cette méfiance envers les *wish data* n'est pas nouvelle, elle a accompagné l'économie expérimentale dès ses débuts. On pourra ici consulter Kagel et Roth [1995]¹¹⁸. Ces auteurs reviennent sur les premières réalisations de l'économie expérimentale, et sur les critiques qui les ont accompagnées. Thurstone en 1931 avait tenté d'estimer des courbes d'indifférence, en demandant à des personnes de choisir différentes combinaisons de chapeaux, manteaux, et de chaussures. Wallis et Friedman [1942], critiquèrent ces choix pour des raisons qui préfigurent celles récurrentes accompagnant les critiques des approches SP. En réponse à ces critiques, Rousseeau et Hart [1951] ont tenté une expérience dans laquelle ils ont demandé aux personnes interviewées d'exprimer une préférence entre différents petits-déjeuners composés de différentes combinaisons de bacon et d'œufs sur le plat. Ils ont introduit une note de réalisme, par laquelle chaque personne était obligée de manger ce qu'elle avait déclaré préférer.

Un autre aspect de ce caractère fictif est le caractère de court terme de ces données. Il est difficile pour les interviewés de se représenter l'ensemble des ajustements de moyen ou de long terme correspondant aux offres alternatives présentées. C'est là une des causes possibles de divergences entre les résultats des SP et des RP.

Une autre cause de difficultés est constituée par l'existence possible de biais dans les estimations basées sur les SP. Ce point nécessite un examen approfondi, que nous proposons maintenant de mener en présentant à la fois la nature de ces biais et les moyens dont on peut se doter pour en réduire, voire en supprimer, l'importance.

Les biais, un risque limité ?

Il convient tout d'abord d'écartier de cette problématique ceux des biais qui ne sont pas propres aux Préférences Déclarées, tels que les biais **d'échantillonnage** et les biais **d'exécution**¹¹⁹ (parmi l'échantillon, ceux qui répondent effectivement ne sont pas forcément représentatifs), ceux-ci n'étant cependant pas spécifiques à la méthode des SP.

En fait si l'on se limite aux biais les plus spécifiques aux SP on distingue les biais traditionnels des passations d'enquêtes et le biais lié au caractère hypothétique des réponses.

De manière plus spécifique, Bonsall [1985] a établi une classification des biais : *"biais d'affirmation (tendance de la personne interviewée à aller dans le sens de l'enquêteur ou de l'analyste), biais d'absence de contrainte (absence de prise en compte des effets négatifs d'un possible changement), biais politique (la personne interviewée biaise sa réponse pour influencer la décision politique)^{lii}."*

Causse [1999] ajoute les **biais de protocole**, qui résultent de l'incapacité de l'enquêté à appréhender toutes les dimensions du problème ou de sa difficulté à utiliser de manière fiable le mode de réponse qui lui est proposé. Sur ce point, McFadden [1986] soulignait déjà une autre difficulté des SP liée à la

¹¹⁸ Cités par Fowkes [1998].

¹¹⁹ Sur ce point Fridstrøm et Madslie, ont réalisé un traitement intéressant. En analysant les non-réponses ils ne trouvent pas de corrélation concluante entre les variables caractéristiques de la population et les non-réponses. ***

stabilité des préférences élicitées au cours de la séquence d'opérations réalisées par chaque individu. Des facteurs tels que l'apprentissage, l'ennui ou l'ancrage dans des tâches antérieures ("*anchoring to earlier tasks*") peuvent distordre la mesure des préférences et "*jeter le doute sur la congruence cognitive du cadre temporel dans lequel des mesures de SP sont effectuées à la différence des mesures effectuées sur le marché*"^{liii}.

S'y ajoute une **difficulté à se représenter de manière fidèle les alternatives offertes**. "*Si les données doivent être utilisées comme une base pour la prévision, une image incorrecte des attributs des options produirait une prédiction incorrecte*" (Bonsall [1983]). Un autre biais souligné par Ben-Akiva et Morikawa est celui de "prominence hypothesis" dans laquelle le répondant considère seulement l'attribut qui lui paraît le plus important. On pourrait ajouter à cette longue liste le **biais de non-engagement**, lié à l'absence de conséquence du choix déclaré qui, tel que le définit Fabien Leurent, "*consiste à déclarer une propension à payer supérieure à celle que dicterait une situation réelle*".

Ces biais sont parfois difficiles à identifier. Par exemple, le biais de **rationalisation ou de justification** est souvent rapproché de l'effet d'habitude ou encore des "post selection bias" (biais post sélection) ou "mode loyalty" (loyauté au mode) (Gunn, [1984]). Cet effet d'habitude a été particulièrement étudié par Bannister [1976] et Goodwin [1977]. En toute rigueur cependant l'effet d'habitude témoigne d'une incapacité de l'interviewé à se projeter dans la nouvelle situation tandis que le biais de rationalisation peut surgir même lorsque l'individu est capable de s'imaginer dans la situation hypothétique mais exagère la contrepartie nécessaire à son changement d'option pour "défendre" son choix actuel. Gunn [1984] a toutefois montré que l'effet d'inertie pouvait parfois être mesuré même lorsqu'il n'existe pas, du fait des méthodes qui sont employées pour le déceler.

Réaliser une analyse détaillée de chacun de ces biais nécessiterait une étude en soi. Nous nous contenterons de résumer dans le Tableau 25 l'effet de ces biais sur la mesure de la valeur du temps, puis de montrer quels dispositifs les méthodes de SP proposent pour mesurer ou pour maîtriser l'effet de ces biais.

Tableau 25 : les différents biais auxquels sont exposées les méthodes de Préférences Déclarées

Type de biais	Contenu.	Effets sur les valeurs du temps estimées.
Biais de complaisance/ d'affirmation	Tendance à abonder dans le sens de l'enquêteur	Indéterminé
Biais stratégique / policy response	Tendance à donner des réponses non sincères pour influencer sur les résultats de l'étude	Probablement récessif
Biais de rationalisation / justification	Tendance à justifier de manière excessive l'alternative courante	
Biais de protocole	Difficulté à appréhender toutes les dimensions du problème	Indéterminé
Absence de contrainte	Difficulté à prendre en compte les contraintes réelles qui agissent sur le choix	Sensibilité trop importante aux variations des attributs. Mais l'effet joue sur l'ensemble des coefficients: l'effet final est indéterminé.

De nombreuses études, telles, par exemple, celle de Davis et Holt [1993], ont montré que la portée des biais pouvait fortement être réduite par l'utilisation de méthodes adéquates et notamment par les précautions dans la passation des questionnaires. La portée du biais d'affirmation ou de complaisance est limitée dans les cas des analyses conjointes : il n'est en effet pas toujours facile dans ce cas pour l'interviewé d'identifier le sens dans lequel il pourrait être complaisant envers l'enquêteur. Cet aspect a été étudié dans des domaines autres que l'économie des transports : Desaiques [1998] montre que les comportements stratégiques en matière de révélations des consentements à payer pour des biens environnementaux sont moindres que ce que les économistes pensaient initialement dans les années 60 sous l'influence de Samuelson [1954]. Le **biais de rationalisation** ou de **justification** pourrait, quant à lui, ne pas être aussi étendu qu'une analyse rapide pourrait le laisser croire, puisque certaines techniques

d'analyse tendent à le faire apparaître même lorsqu'il n'existe pas. Gunn [1984 p. 5] montre ainsi que lorsque l'on utilise des techniques de transfer price, et que l'on approche par des droites les courbes représentant l'espérance de la différence d'utilité entre les alternatives, on pourra voir un effet d'inertie, même lorsque celui-ci n'existe pas : *"les approximations utilisées dans les études antérieures vont produire un effet d'habitude apparent là où il n'en existe pas, ou exagérer l'amplitude de tout effet d'échelle là où il existe^{lv}"*. La tentation de neutraliser ce biais par l'introduction comme variable explicative du mode actuel n'étant pas une solution adaptée puisque cette introduction viole alors les hypothèses sur la distribution des erreurs dans le modèle d'utilité stochastique (Gunn [1984]). Enfin, si l'analyste a des éléments lui permettant d'affirmer que le biais de rationalisation existe, il pourra recourir à des procédures de traitement des données, inspirées par les travaux de Bradley et Daly [1991]. Concernant le biais de protocole, Schkade et Payne [1994] proposent de réduire la portée de ces biais par la technique des protocoles verbaux : l'individu lit à haute voix le questionnaire, formule tous les commentaires à haute voix, ce qui permet de tester la compréhension générale du questionnaire.

Le risque de biais est inhérent aux méthodes de Préférences Déclarées : *"l'échelle des coefficients peut être biaisée dans les Préférences Déclarées, pour un ensemble de facteurs qui diffèrent entre un contexte de choix réel et la meilleure des expériences de SP réalisables^{lv}"* Bradley et Daly [1991]. Cette méthode ne peut donc pas faire l'économie d'une interrogation sur la portée de ces biais. A ces interrogations répondent soit des résultats empiriques permettant de relativiser la portée des biais ou des précautions méthodologiques permettant à tout le moins d'en réduire l'incidence. Ces éléments pourront paraître insuffisants, il est alors nécessaire de passer à un autre type d'analyse qui constitue comme l'épreuve du feu : la capacité prédictive des SP, ou encore la validation des SP.

La validité des méthodes de Préférences Déclarées est assise sur des validations relativement consolidées

La question de la validation a été essentiellement étudiée dans les années 80. Depuis lors cette thématique est beaucoup moins présente dans les travaux de modélisation du choix de transport. Swait, Louvière et Williams [1994] citent comme travaux de validation : Lerman et Louvière [1978], Levin, Meyer et Louvière [1979], Louvière et al [1981], Louvière et Meyer [1981] et concluent : *"il est juste d'affirmer que les résultats empiriques corroborent la conclusion selon laquelle les méthodes de SP sont non seulement des compléments utiles aux méthodes de RP, mais aussi qu'elles ont démontré, de manière répétée, un niveau élevé de validité externe et de validité prédictive dans de nombreuses situations de choix réels^{lvi}"*.

On présente d'abord les différents types de validations obtenus avant de montrer quels sont leurs résultats.

Différents types de validation existent

La forme la plus immédiate de validation réside dans la **qualité de l'ajustement statistique** réalisé. Cela est trivial, nécessaire, mais bien entendu pas suffisant. Ben-Akiva et Morikawa [1990a] parlent également d'une forme particulière de "stabilité" du modèle : importance du terme d'erreur dans les données de SP comparée à celle des RP. Cette définition de la stabilité peut être rattachée à la qualité d'ajustement du modèle.

Au-delà, la question de la validation peut se poser de plusieurs manières. Soit que l'on cherche à déterminer dans quelle mesure ces résultats sont généralisables. Il faut alors estimer au moins deux choses : la **"réplicabilité"** des résultats obtenus sur les mêmes individus dans un exercice identique, la possibilité de **généraliser** les résultats à la population dont sont issus les individus observés ou à d'autres populations. Ces questions ne sont pas triviales. Ainsi la réplabilité n'est pas immédiate, du moins pour ceux mettant en avant le trop grand aléa de ces méthodes ou encore l'influence trop importante du bruit (ordre des questions, passation du questionnaire). Quant à la question de la généralisation elle ne se réduit

pas à la problématique traditionnelle de l'inférence statistique. Il existe au moins deux manières de présenter la question selon le type de données auxquelles on confronte les résultats. On retrouve alors une distinction classique entre **validation interne** et **validation externe**. Ces dernières sont définies comme la capacité des prévisions faites par des SP à prévoir les comportements réels. Quant aux validations internes, elles concernent la cohérence et la stabilité de la méthode. Parmi ces méthodes de validation interne, Bradley [1988] cite : les indicateurs de qualité d'ajustement du modèle, la réplicabilité (fait que les individus confrontés à une même expérience donnent les mêmes réponses), la validité prédictive (capacité de l'exercice à prévoir les réponses fournies par les individus dans d'autres exercices, soit sur la population interrogée soit sur une autre population).

On voit, dès lors, que ces différentes classifications doivent être combinées. C'est ce que se propose de faire le Tableau 26. En colonne apparaissent 4 principales méthodes de validation, qui correspondent à 4 grandes questions que l'on peut se poser : le modèle ajusté sur les données de Préférences Déclarées est-il de bonne qualité statistique (**qualité d'ajustement**) ? Un modèle estimé sur des données de SP me permet-il d'obtenir de résultats semblables à ceux découlant de données de RP (**comparabilité RP**) ? Le modèle me permet-il de "prévoir" de manière fiable des comportements (**capacité prédictive**) ? Enfin les modèles basés sur des données de SP se trompent-ils plus ou moins que ceux obtenus par rapport à d'autres méthodes (**capacité prédictive comparée**) ?

Pour répondre à ces quatre questions trois outils sont disponibles : Observer les indicateurs de la qualité d'ajustement, comparer les résultats d'un SP et d'un RP, comparer les comportements réels et ceux prévus par un SP.

Tableau 26 : méthodes de validations des SP

Comparaison des performances relatives des différentes méthodes de validation		3 populations de validations				
		Individus identiques	Autres individus			
			Même population	Autre population		
		Chaque population validante permet de répondre à une question distincte.				
Les SP sont-elles stables ?		Les SP sont-elles généralisables ?	Les SP sont-elles transférables ?			
4 critères de validations	Interne	Qualité d'ajustements (Goodness of fit)	<p>Méthode : Examen des indicateurs de la qualité d'ajustement du modèle.</p> <p>Interprétation : de mauvais indicateurs permettent de rejeter le modèle. De bons indicateurs permettent-ils de "prouver" la validité du modèle ?</p>			
		Cohérence entre les exercices de préférences déclarées				
	Externe	Contexte identique	<p>Méthode : Soumettre les mêmes individus à deux expériences dans un même contexte.</p> <p>Interprétation : Réplicabilité des comportements déclarés. Résultats équivalents aux indicateurs de qualité d'ajustement</p>	<p>Méthode : Soumettre différents individus d'une même population à deux exercices identiques.</p> <p>Résultat : stabilité des comportements déclarés.</p>	<p>Méthode : Comparer les résultats de plusieurs expériences.</p>	
			Contexte différent	<p>Méthode : Soumettre les mêmes individus à deux contextes différents.</p> <p>Interprétation : stabilité des comportements mis à jour par différents exercices. Faible efficacité car on ne sait pas si on mesure la stabilité de la méthode ou la différence entre les contextes.</p>	<p>Méthode : Soumettre différents individus d'une même population à deux exercices différents.</p> <p>Résultat : stabilité des comportements déclarés.</p>	<p>Méthode : Comparer les résultats de plusieurs exercices de SP réalisées sur des populations différentes.</p>
		<p>La stabilité des résultats peut renforcer les SP. mais comment interpréter une différence ?</p>				
		Capacité à reproduire des résultats de Préférences Révélées.				
	La comparaison ne vaut que pour un contexte et des individus identiques.					
	Contexte identique	<p>Méthode : Estimer un modèle à partir de données RP et de données SP.</p> <p>Interprétation : capacité des SP (plus économiques) à produire les résultats des RP. Une divergence ne permet pas d'invalider les SP.</p>				
		Contexte différent	s.o.			
	Confrontation entre les prévisions et les comportements réels					
Contexte identique	<p>Méthode : Comparaison entre les comportements prévus par un modèle calé sur des SP et les comportements réels.</p> <p>Interprétation : capacité prédictive des SP.</p>	idem				
	Contexte différent	<p>Méthode : idem, mais en appliquant le comportement estimé à un contexte différent.</p> <p>Interprétation : stabilité de la qualité prédictive des SP. Mesure jusqu'où les résultats sont ou ne sont pas transposables à d'autres individus.</p>				

Résultats des tests de validation

Qu'en conclure en terme de validation des méthodes de Préférences Déclarées, et plus spécifiquement de leur adéquation au transport de marchandises ?

Concernant la **validation interne**, Wardman [1988] donne plusieurs exemples de validation interne des résultats dont la conclusion d'ensemble est que les performances des modèles de SP sont convenables selon ce critère.

Concernant la **comparaison avec les données de RP**. On note tout d'abord que cette comparaison peut porter sur plusieurs points : coefficients estimés, mode prévu, ratios (valeurs du temps). Bates et Robert [1983] présentent sur ce point une tentative (non aboutie) de comparaison pour des données voyageurs. Ils montrent les difficultés théoriques soulevées par une telle comparaison. Nous pensons que ces difficultés apparaissent également lorsque l'on étudie les valeurs du temps du fret :

- Une première difficulté concerne le cadre temporel dans lequel sont prises les décisions. Dans le cas des SP il est raisonnable de penser que les décisions sont prises en fonction des préférences en vigueur au moment de l'enquête, tandis que dans les RP il est très possible que certains répondants aient pris leur décision plusieurs mois dans le passé sans avoir eu d'expérience ou de connaissance plus récente du choix qui leur est effectivement offert. En général, le processus de choix n'est pas un processus répété mais il survient dans des moments de remise en question des modes de transport.
- Une seconde difficulté, pour mener une comparaison, est que, dans les SP, les individus énoncent des préférences basées sur des attributs "parfaitement" définis tandis que les attributs des RP connus par l'analyste et éventuellement reportés par les interviewés peuvent ne pas être corrects.
- Un autre point critique concerne le statut différent de la matrice des variances covariances des coefficients, qui, dans le cas des SP, peut être parfaitement définie avant même la passation des entretiens tandis que dans le cas des RP elle ne peut être qu'estimée a posteriori.
- Enfin, l'effet d'inertie pourrait être plus important pour les SP que pour les RP : *"un effet significatif est apparu sous la forme d'un terme additionnel constant qui a été interprété comme un effet d'inertie^{lvii}"*. Il faut que la variation de l'attribut excède le point d'indifférence pour que les personnes déclarent effectivement un changement d'alternative. La difficulté est que ce fait peut-être interprété de deux manières : soit comme une capacité de la méthode à rendre compte d'un phénomène psychologique important pour comprendre les mécanismes réels de choix entre alternatives, soit comme la nécessité de "forcer" de manière excessive les modifications d'attributs pour obtenir une modification des intentions déclarées.

D'autres difficultés sont soulignées par Louvière et al [1981] qui buttent notamment sur l'existence d'intervalles de confiances très larges des coefficients estimés par les deux méthodes, ce qui rend difficile de conclure.

Mais ces difficultés méthodologiques et conceptuelles sont secondes par rapport à une autre : on ne sait pas comment interpréter une différence entre les résultats de SP et de RP, car les RP ne constituent pas une validation, mais une comparaison entre deux méthodes d'estimation.

Si l'on ne s'arrête pas à ces objections, que peut-on observer en comparant les résultats de SP et de RP ? Les résultats sur ce point sont aujourd'hui nombreux, de moins pour les transports de voyageurs, et ils tendent à montrer la proximité entre résultats de RP et de SP. C'est ce que suggère l'expérience d'Hague Consulting Group [1995] dans l'étude "VOT on UK roads". La comparaison de résultats de RP et de SP indique *"Une similitude des données de SP et de RP a été rencontrée à un niveau général et a été observée (...) en termes de valeurs du temps^{lviii}"*. On pourra également consulter Bates [1984] sur le choix modal entre route et fer dans le North Kent ou, sur les mêmes données, les travaux de Wardman [1988].

La validité externe

La validation externe des données passe par la comparaison des choix individuels prévus avec les choix individuels observés.

Souvent l'indicateur retenu est la part des individus dont le choix est décrit correctement. Sur ce point, on ne peut que mettre en garde contre une interprétation faussée et trop enthousiaste de certains résultats. En tirant à pile ou face le choix prévu pour chaque individu, un prévisionniste peu scrupuleux pourrait obtenir facilement 50 % de succès dans un modèle bimodal. Lorsque la part réelle du mode 1 est p , pour chaque individu l'espérance de réponse exacte, est :

$$P(\text{prévoir 1}) \cup P(1 \text{ choisi}) + P(\text{prévoir 2}) \cup P(2 \text{ choisi}) = 0,5 \cdot p + 0,5 \cdot (1-p) = 0,5.$$

En répartissant de manière stochastique les individus selon les proportions p et $(p-1)$, un prévisionniste un peu plus informé mais à peine plus sourcilieux, pourrait aboutir à une prévision exacte avec une espérance de : $p^2 + (1-p)^2$. Aussi, lorsqu'un mode est dominant la capacité prédictive d'une répartition purement stochastique devient bonne, de l'ordre de 0,6 lorsque la part de mode dominant est 70 %. Lorsqu'il s'agit de vérifier la validité d'un modèle sur les observations utilisées pour l'estimation ou encore lorsqu'on applique les données à une nouvelle population dont le choix modal n'est pas très différent de la population initiale on doit se garder d'une interprétation trop favorable du taux de succès de la prévision individuelle.

Enfin, on doit distinguer la validation des modèles selon qu'elle est effectuée sur des données agrégées ou sur des données individuelles. A priori la validation sur des données individuelles est plus exigeante : il faut que chaque individu se voie assigné au mode exact, tandis que la prévision agrégée voit les erreurs en partie se compenser. Par exemple en appliquant le modèle estimé à 100 personnes, on peut trouver la proportion juste de 70 % tout en ayant un taux de prévision individuelle de 40 % (cas extrême).

Une autre difficulté concerne les conditions de cette validation externe, qui sont relativement nombreuses : deux d'entre elles sont soulignées par Bates et Roberts [1983] : " *conserver un enregistrement adéquat des variables pertinentes, permettre l'écoulement d'une durée suffisante pour permettre aux effets des changements de se répercuter complètement dans le système* ^{lix}."

Cette réserve faite, on peut présenter les principaux résultats recueillis sur la validation externe.

Levin et al [1983] recensent les études de validation effectuées, ils concluent " *Il existe un nombre considérable de résultats en faveur de la validité externe* ^{lix}". Louvière [1988] examine la validité externe des modèles de choix discrets. Il cite les résultats probants obtenus dans le domaine des transports par Davidson [1973] ou dans d'autres domaines par Wright et Kriewall [1980], Parker et Srinivasan [1976], Wittink et Montgomery [1979]. Louvière et Hensher [1982] estiment un modèle agrégé de choix entre le mode aérien et le mode maritime pour les relations entre la Tasmanie et l'Australie continentale. Leur modèle est basé sur des choix discrets multinomiaux entre 4 alternatives maritimes ou aériennes, leur plan d'expérience prend en compte tous les effets principaux et les effets croisés de premier ordre. Le modèle de prévision prévoit des parts de 0,78 et 0,22 quand les parts de marchés réelles sont 0,82 et 0,28.

Enfin, en "statique comparative", qu'en est-il lorsque l'on **compare la validité externe des données de SP et de RP ?** Sur ce point, Wardman [1988] cite plusieurs études sur la valeur du temps : Bates et Roberts [1983], Hensher et Truong [1983], Louvière et al [1981]. Louvière renvoie aux travaux de Benjamin et Sen [1982], Kocur et al [1982], Lerman et Louvière [1978], Louvière et Hensher [1982], Louvière et Kocur [1983].

Wardman [1988] a montré par ailleurs qu'un modèle de choix modal de voyageurs calibré par des données de Préférences Déclarées donne une meilleure prévision de la répartition réelle qu'un modèle similaire obtenu à partir des Préférences Révélées. Ces conclusions découlent d'un exercice de choix modal entre la route et le train dans laquelle on compare les choix prévus par un modèle ajusté sur des données de SP et ceux ajustés sur des données RP. Concrètement Wardman estime un modèle sur des données de SP et des données RP, puis applique les coefficients ainsi obtenus sur les valeurs réelles des attributs auxquels les individus sont confrontés. Pour chaque individu on peut ainsi comparer le choix prévu en fonction des données de SP ou de RP avec le choix réel. Les résultats agrégés sont les suivants : " *Les parts réelles du train et des cars dans l'échantillon sont 62 % et 38 %. Les parts prévues par les résultats du SP sont 76 % et 24 %, mais cela est meilleur que les parts obtenues dans les résultats de SP 89 % contre 11 %* ^{lxi}." Au niveau individuel 77 % des choix des individus sont correctement prévus par le modèle de SP contre 71 % pour le modèle de RP.

Benjamin et Sen [1982] réalisent une étude sur le choix modal dans trois quartiers de Charlotte en Virginie. L'expérience est réalisée sur le même échantillon à un an d'intervalle. Grâce au modèle calé sur

l'année 1 on peut prévoir les comportements de l'année 2. La validité prédictive est étudiée de manière agrégée et désagrégée. Les résultats agrégés sont jugés bons si l'on somme les résultats sur les trois zones d'étude. Mais, en considérant les résultats de chaque quartier, des différences parfois importantes apparaissent. De manière désagrégée, Benjamin et Sen estiment la part de prévisions individuelles exactes du modèle. Sur ce point, les auteurs concluent qu'entre 63 et 85% des individus sont classés correctement par le modèle (un modèle naïf appliquant la part modale aux individus aurait un succès de 65 %).

* *

*

Face à ces résultats, que conclure ? D'une part, que ces tests de validation sont suffisamment nombreux pour ne pas être écartés. Mais d'autre part, que ces résultats appartiennent à un moment donné du développement des méthodes de Préférences Déclarées. Il est difficile pour le chercheur qui s'intéresse à cette question de ne pas être ramené vers des références des années 70 ou 80, il semble ainsi que la question de la validation ait été éclipsée par d'autres thèmes au cours des décennies suivantes. Cette évolution pourrait être interprétée de manière diverse. Soit que les résultats réunis durant la période précédente étaient suffisants pour que la question soit délaissée, soit qu'il se soit opéré par un processus d'antisélection une polarisation des équipes de recherches. Pour celles pour lesquelles ces techniques avaient fait leur preuve, il importait désormais de passer à la résolution de questions liées à leur mise en œuvre et non plus leur validité, les équipes qui n'étaient pas parvenues à cette conclusion délaissant cette piste de recherche.

Du moins les résultats de validation existent-ils et nous invitent à considérer les SP comme une méthode au moins concurrente des RP. On peut alors se demander quels avantages ont ces données sur celles des RP.

Avantages des SP par rapport aux RP

Les principaux avantages des SP sont liés à la possibilité de maîtriser le plan d'expérience. Cela permet, en outre, que les données présentent une variabilité suffisante du niveau des attributs : l'étendue des valeurs des attributs peut être élargie selon les besoins de l'analyse. On évite, par ailleurs, les problèmes de multi-colinéarité entre variables et une de ses formes particulières : la dominance. En outre, les variables peuvent être définies sans ambiguïté et exprimées sans erreur. De plus, deux sources de la composante stochastique (parmi les trois qui sont les plus couramment évoquées) disparaissent ou du moins sont sensiblement réduites : les variables explicatives omises et les erreurs de mesure dans les variables explicatives.

Avant de conclure sur les SP on doit également présenter une variante connue sous le nom de prix de transfert.

3.2 Une autre approche SP : les prix de transfert

Le trait distinctif des TP (Transfer price) par rapport aux choix discrets est qu'ils demandent directement une estimation monétaire des gains de temps. On interroge ainsi les sondés sur leur consentement à payer pour une diminution des durées de transport ou encore sur l'augmentation de prix qu'ils jugent nécessaire pour modifier leur comportement de transport. Typiquement une question de transfer price peut être formulée comme : "*combien seriez-vous prêts à payer pour gagner X minutes sur votre déplacement ?*" Parfois, mais plus rarement, les questions de prix de transfert sont formulées de manière fermée : "*seriez-vous prêts à payer X€ pour gagner Y minutes ?*", mais on n'est alors pas très éloigné d'un exercice de choix discrets entre la situation actuelle et un scénario alternatif.

Ainsi que le rappelle Bonsall [1983] la notion de Prix de transfert a été considérée, il y a plus d'un demi-siècle, par Georgescu-Roegen [1936], tandis que la première application pratique semble remonter à Lee et Dalvi [1969].

Daly [1996] fournit un cadre d'analyse des données de TP. Les prix de transfert ne sont pas directement interprétés comme la différence d'utilité entre les deux alternatives mais comme une fonction linéaire de cette différence aux aléas près :

$$TP = \tau(V) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2), \text{ avec :} \quad (3.14)$$

V , différence entre les composantes systématiques de l'utilité des deux alternatives,
 ε_1 et ε_2 , composantes stochastiques des utilités des deux alternatives,
 τ , transformation inconnue entre l'utilité et le prix de transfert annoncé.

Il montre que, en principe, cette méthode permet de recueillir plus d'information par observation, parce que l'interviewé déclare non seulement quelle alternative est préférée mais aussi de combien elle est préférée.

Intérêt et limites des prix de transfert

On compare les TP, tout d'abord, aux RP puis aux autres techniques de SP.

En comparaison avec les RP, les TP offrent un ensemble d'avantages.

- Elle permet d'obtenir une valeur pour chaque personne interrogée. Elle permet ainsi d'obtenir facilement une distribution des valeurs du temps.
- La méthode est continue et non discrète comme cela est le cas pour les données de RP (sauf dans le cas extrême où le champ de mesure est continu),
- Elle permet de traiter des alternatives qui n'existent pas ou qui ne sont choisies que par une minorité réduite de personnes,
- Cette méthode peut permettre d'identifier des effets de seuil ou des discontinuités.

Les TP présentent cependant des inconvénients semblables à ceux des Préférences Révélées : elles sont limitées au contexte réel et par ailleurs parviennent difficilement à isoler l'impact de chacune des variables.

Les TP ne sont valides que sous conditions. Il faut notamment que l'attribut sur lequel la question est formulée soit effectivement l'objet d'un arbitrage. Ce point peut être problématique notamment dans les exercices de choix modal. Ainsi d'une situation citée par Bonsall [1985] dans laquelle 88% des conducteurs de VP affirment qu'aucune réduction du coût des bus ne les fera basculer vers ce mode. Egalement problématique dans la situation de choix modal est le risque de ne pas mesurer seulement le consentement à payer pour un gain de temps mais également pour un changement de mode. Il faut, enfin, que ce trade-off s'appuie sur des situations de choix que l'interviewé a déjà pu expérimenter. Cela amène le plus souvent à préférer exprimer la question en terme d'augmentation de prix plutôt que de réduction de prix puisque les premiers correspondent plus que les seconds à l'expérience des consommateurs.

On peut souligner cependant les limites de la technique du prix de transfert, par rapport à **celles des Préférences Déclarées** au sens strict (analyse conjointe) :

- Un risque accru de réponses "stratégiques" :
"Le risque de réponses stratégiques (c'est-à-dire biaisées intentionnellement par la personne interrogée, pour influencer les résultats de l'enquête) est plus faible avec la technique des Préférences Déclarées (analyse conjointe) qu'avec la technique de prix de transfert, particulièrement sujette à ce type de biais."

- Une difficulté accrue à simuler les conditions réelles du choix :

“La technique des Préférences Déclarées place la personne interrogée dans une situation de choix, dans un contexte hypothétique mais aussi réaliste que possible ; toute la conception du questionnaire tend à minimiser les risques de réponses irréalistes ; la technique de prix de transfert présente, elle, un risque plus élevé de recueillir des réponses éloignées de ce que serait le comportement réel, dans les conditions envisagées dans l'enquête.”

Une difficulté réelle est constituée par le caractère fictif des consentements à payer déclarés. Gunn [1981] tente de calibrer l'euro¹²⁰ de Transfer Price par rapport à l'euro des Préférences Révélées. Il compare les résultats de deux modèles : $TP = f(X_{ij}-X_{ik})$ et $U_{tc} = f(X_{ij}-X_{ik})$. Il obtient que les coefficients sont cohérents les uns par rapport aux autres mais qu'il existe un effet d'échelle général : les coefficients des TP sont environ 2 fois plus élevés que les coefficients de RP. Cela suggère que les euro "mesurés" par les Transfer Price ont moins de "valeur" que ceux d'un modèle de RP, ou encore *"(que) les méthodes de transfer price tendent à surestimer le consentement à changer de mode^{lxiii}"* (Gunn [1981]).

Plus généralement c'est le risque de biais qui est souligné par les auteurs, et notamment le risque d'exagérer la réponse au changement. On pourra consulter sur ce point Hartgen [1972]¹²¹, Hensher [1976]¹²², Couture et Dooley [1981] tous trois cités par Bonsal [1983].

Par ailleurs, lorsque les questions de prix de transfert sont formulées de manière fermée, lorsque l'on propose un prix de transfert en recueillant l'acceptation ou le refus des interviewés, on est soumis à un "effet de soutien". Hors du champ des transports, Jacowitz et Kahnemann [1995] ont ainsi établi l'effet des valeurs proposées sur l'estimation par des personnes interviewées de valeurs incertaines (longueur de l'Amazone, hauteur du plus grand séquoia). Dans le domaine de l'évaluation contingente Rowe et alii [1980], Mitchell et Carson [1984], Cummings et alii [1986], Mitchell et Carson [1989] ont mis en évidence cet effet sous le nom de biais d'initialisation ou biais d'ancrage¹²³.

Enfin, un des inconvénients majeurs est que le prix de transfert exprimé pour une alternative jugée préférable doit être positif. Daly [1996] insiste : *"une utilisation erronée de cette information a conduit à des biais dans les résultats des analyses et, en conséquence, les données de TP ont été moins utilisées qu'elles n'auraient pu l'être^{lxiiii}."* Toutefois un traitement approprié des TP peut contourner cette difficulté. Gunn [1984] a ainsi montré qu'en réalisant de tels traitements, l'information contenue dans les données de TP est plus importante que celle des données de RP et de SP.

¹²⁰ En l'espèce, il s'agissait de livres sterling.

¹²¹ L'étude de Hartgen [1972] est particulièrement intéressante sur ce point puisqu'elle ne se contente pas de montrer l'existence d'un biais, mais en fournit une mesure.

Les résultats sont décrits ainsi par Bonsall [1983] : *"Respondents were asked to indicate at what ratio of bus journey time to car journey time they would switch from one mode to the other. This was compared with the observed mode choice of respondents who actually experienced given journey time ratios between the % modal splits derived from the statements and the observations as taken to indicate the scale of the non-commitment bias. Hargen found the bias to be substantial (exceeding 100%) but apparently quite stable because when applied as a correction factor to respondent's statements about the journey time ratios at which they would use a hypothesised park and ride facility the resulting predictions produced a reasonable guide to out-turn behaviour"*.

On est là dans un test de validation agrégée de la distribution des points de basculement mesurés par les TP, qui montre certes qu'il existe un biais mais que ce biais est "régulier" ce qui pourrait éventuellement permettre d'en éliminer l'effet.

¹²² L'étude de Hensher ne permet pas, semble-t-il, de fournir une mesure appropriée du biais. En effet, les questions posées dans cette étude sont rédigées afin de déterminer quand les sondés pourraient considérer changer de mode et non quand ils le feront réellement. N'ayant comme données de validation externe, que des éléments sur le comportement des sondés et non sur leurs *considérations*, on en peut dans cette étude trouver d'éléments de validation ou d'invalidation des données de TP.

¹²³ Pour une discussion tendant à nuancer l'importance de ce biais d'ancrage on pourra voir Rowe, Schulz et Breffle [1996].

Le risque de biais est probablement l'élément principal qui explique le faible succès des prix de transfert. L'avis favorable formulé par Bonsall [1983] : *"on pourra également montrer que les méthodes de transfer price sont moins susceptibles de biais (...) que certaines des techniques d'intentions déclarées les plus simples^{lxiv}"*, apparaît au final comme relativement isolé.

Pour finir, un résultat intéressant est fourni par Gunn [1984]. Il examine la cohérence des données de TP et de RP. Le cas d'application est le déplacement domicile travail par bus et train à longue distance dans l'agglomération londonienne. Un modèle de RP est ajusté et comparé à des données de TP provenant de la même enquête. Sur la base des coefficients de RP on peut estimer la différence d'espérance de l'utilité estimée entre deux alternatives ($E(\hat{U}_{ij}) - E(\hat{U}_{ik}) = \hat{V}_{ij} - \hat{V}_{ik}$, selon les notations habituelles. Si les TP sont fiables ils devraient correspondre (être proportionnels) à cette différence d'utilité. On peut visualiser la cohérence des résultats en examinant un nuage de points entre cette différence d'utilité estimée et des Transfer Price et faire une régression entre les deux ensembles de données. Le résultat sur ce point n'est pas décisif, mais il tend à montrer la cohérence entre le comportement élicité par les Préférences Révélées et celui des transfer price (les coefficients de régressions sont fortement significatifs, le R^2 est quant à lui relativement faible à 0,42).

Application des TP au transport de marchandises

Les TP ont été appliqués à plusieurs reprises aux transports de marchandises. De Jong et al [1995] estiment ainsi la valeur du temps au Royaume-Uni en demandant à des entreprises de transport combien elles seraient prêtes à payer pour éviter *"une détérioration de 25 % des durées de transport"*.

Dans un modèle de choix entre itinéraires routiers payants ou gratuits, Wynter [1995] utilise une variante de cette méthode qu'elle dénomme "point critique" et qui s'apparente aux "enchères ascendantes". On interroge alors les transporteurs en leur demandant s'ils sont encore prêts à utiliser un itinéraire à péage lorsque son prix augmente de x %, soit successivement : 25%, 50% et 100%. On obtient ainsi l'intervalle dans lequel se situe la valeur accordée à un gain de temps permis par l'infrastructure à péage. Une telle technique s'approche, il est vrai, des choix discrets puisqu'on cherche à éliciter les préférences au moyen d'un ensemble de choix binaires. Le problème traditionnel des enchères ascendantes, le biais d'ancrage, est alors évité par le fait que l'ancrage se réalise sur le prix effectivement payé sur le trajet actuel.

Une autre variante est basée sur des enchères convergentes. Suzuki et al [1989] l'appliquent aux transports de voyageurs (la recherche bibliographique n'a pas permis d'identifier l'application d'une telle méthode au transport de marchandises). La personne interviewée doit répondre à une série de questions lui demandant si elle serait prête à utiliser l'infrastructure autoroutière pour un surcoût de x Yens, x variant de manière itérative : pour la question suivante x augmente lorsque la réponse est positive et diminue lorsque la réponse est négative. On converge ainsi vers une valeur du temps déclarée.

Suzuki et Wynter ne démontrent pas qu'il existe un apport clair de leurs méthodes par rapport aux méthodes classiques de prix de transfert, on peut notamment se demander quel est l'intérêt de déterminer de la sorte un intervalle dans lequel se situe la valeur recherchée, plutôt que de demander directement un prix de transfert. Le risque existe également – mais nous avons vu qu'il peut être circonvenu par une initialisation de l'exercice sur les valeurs contextuelles – d'un biais d'ancrage.

* *

*

On voit ainsi les différentes ressources que l'économie des transports peut utiliser pour donner un équivalent monétaire aux gains de temps des chargeurs ou des transporteurs. Les Transfer Price constituent une possibilité mais qui à part quelques travaux a cédé beaucoup de terrain par rapport aux méthodes de choix discrets.

Il est vrai que les méthodes de Préférences se prêtent à des variations illimitées qui sont aptes à proposer des modes de traitement pour l'ensemble des difficultés qu'elles soulèvent, et à générer ainsi un nombre important de travaux applicatifs et de développements théoriques. Le point le plus important est que ces méthodes s'appuient sur des résultats de validation que l'on ne peut ignorer. Certes, la production scientifique reste partagée la capacité des SP à rendre compte de manière correcte des paramètres sous-jacents aux choix des agents économiques. De plus, on remarque que la plupart des travaux de validation datent de plusieurs décennies, suggérant ainsi que la thématique de la validité n'est plus aujourd'hui interrogée par les économistes des transports qui la pratiquent. Faut-il y voir une conséquence de travaux suffisamment nombreux et convergents, ayant permis une consolidation des résultats sur ce point ?

Une autre remarque consiste à noter que les validations des travaux de Préférences Déclarées ont été effectuées en transport de voyageurs ce qui laisse la place à un questionnement sur la capacité de ces méthodes à éclairer de manière aussi convaincante les mécanismes de choix à l'œuvre en transport de marchandises. Ce point nécessiterait probablement d'autres analyses.

Reste que les méthodes de SP, et dans une moindre mesure les méthodes de Transfer Price, ont produit avec les RP de nombreux résultats numériques que l'on ne peut pas ignorer et qui doivent maintenant être présentés.

4 Les estimations

Le tableau Tableau 27, ci-après, reprend les résultats obtenus par des études sur la valeur du temps dans différents pays développés. Il précise :

- Auteurs de l'étude, date de la publication.
- Technique : Préférences Révélées ou Préférences Déclarées.
- Modes enquêtés : on précisera si la valeur du temps est obtenue à partir d'un choix à l'intérieur d'un même mode ou d'un choix entre modes.
- Valeur du temps obtenue.
- Pays de réalisation.
- Nombre d'observations collectées sur une même unité de décision et nombre total d'observations.
- Date de réalisation de l'enquête.

Enfin ces résultats sont présentés en regroupant les études réalisées sur une même population : chargeurs sans activité de transport, entreprises qui peuvent transporter en compte propre ou par compte d'autrui, transporteurs qu'ils soient en compte propre ou pour compte d'autrui, et enfin les résultats portant sur les seuls transporteurs pour compte d'autrui. Les différentes études sont ainsi classées en fonction de la population enquêtée pour permettre de comparer valeur du temps pour les chargeurs et valeur du temps pour les transporteurs. Une dernière catégorie regroupe deux travaux réalisés selon la méthode des coûts de production et dont il n'est pas possible de fournir une présentation détaillée, leur rapport de présentation n'étant disponible qu'en néerlandais.

Auraient pu utilement être ajoutées à ce tableau certaines données décrivant l'échantillon d'envois disponible pour l'estimation. Ainsi des caractéristiques essentielles des envois, tels que la distance ou la durée moyenne, qui ont des effets sur les valeurs du temps calculées, peuvent être significativement différentes selon les contextes d'étude. Toutefois dans la quasi-totalité des cas ces données descriptives ne sont pas mentionnées dans les publications, à l'exception des travaux de Fei Jiang, HCG UK et Wigan. On est ainsi privé, à de rares exceptions près d'une des sources d'explication de la variabilité, au sein de des différents travaux présentés, des valeurs du temps estimées par les différents travaux présentés.

Tableau 27 : estimations de la valeur du temps

Auteurs, date de la publication.	Technique - RP - SP - Autres	Modes enquêtés : - intra-modes (un ou plusieurs modes) - intermodes	€ 1997 (sauf indication contraire)	Remarque	Pays de réalisation	Nombre d'observations collectées sur une même unité de décision Nombre total d'observations	Date de réalisation
Etude portant sur les chargeurs exclusifs (pas de compte propre)							
DeJong, Velay et Houée [2001]	RP SP	Intramode (routier) et intermode (routier, ferroviaire)	7,9 6,4				1999
Daniélis et Rotaris [2002]	SP itératif. Estimation d'une valeur des attributs par convergence.	Mode routier est dominant, mais les autres modes (sauf fluvial) sont représentés.	7,3 € 2002 / envoi	N'utilise pas un logit mais une modélisation Adaptive Conjoint Analysis.	Italie.	42 entreprises, 84 envois.	2002
Wigan et al [1998]	SP contextuelles, modèle logit	Choix abstrait sur le mode routier.	- Interurbain camion entier : 0,47 /palette.h - Urbain camion entier : 0,9 /palette. h - Urbain messagerie : 1 /envoi .h	Sondage réalisé au sein des secteurs suivants : - Pièces automobiles - Nourriture et Boissons. - Matériel de construction. - Emballage.	Australie.	43 entreprises et 129 jeux	1998
Enquête portant sur des chargeurs pouvant réaliser une partie de leurs transports en compte propre							
De Jong, Van De Vyvere, Inwood, [1995] IRU I : NL.	S.P. contextuelles, modèles logit.	Route Fer			Pays-Bas.	2 expériences CSP auprès de 50 entreprises : un intra mode un inter mode. Nombre total d'observations	1992

G. de Jong, M. Gommers, étude CSP [1989]	S.P. contextuelles + logit	Intra modes pour : route, rail, voies navigables.	Route : 27,73 à 36,36 /h.envoi moy : 30,91 /h.envoi Rail : 690 /h.train 27,73 /h.wagon Canaux : 190,91 /h.bateau			Pays-Bas.	inconnu. 1 ou 2 expériences par interview. 119 interviews. 130 expériences au total. Nombre total d'observations inconnu.	1989
Bergkvist, [1996]	S. P. contextuelles.	Route	De 0,396 à 2,277 /hr.envoi. Moy : 1,386			Suède.	277 entreprises. 2 à 42 choix par entreprises. Au total 7000 observations	1992
Fridstrom, Madslie, [1994]	S.P. contextuelles itératives.	Route	Modèle non linéaire : 1,78 /envoi.hr. Modèle linéaire : 8,05 /envoi.hr.	Commerce de gros. Les variables explicatives ont subi une transformation de Box – Cox		Norvège.	300 entreprises * 2 jeux S.P. (9 choix entre deux options).	1994
Widlert, Bradley, [1992] "Within rail"	S.P. contextuelles.	Rail	4,3 /h.envoi 0,59 /h.wagon			Suède.	Jusqu'à 3 jeux de 18 choix par entreprise.	1992
Widlert, Bradley, [1992] "Between mode".	S.P. contextuelles	Intermodal : Rail Route	2,93 /h.envoi			Suède.	Jusqu'à 2 jeux intra mode et 1 jeu inter mode. 7046 obs.	1992
Jiang [1998]	R.P.	Inter modal : route fer	Rail : 25,11 /h.envoi 0,72 /h.T Route : 27,8153 /h.envoi 5,4574 /h.t.	- Enquête Hanappe (88), validé par des données du Sitram. - La durée de transport utilisée pour calculer le modèle est soumise à une forte erreur de mesure. Echantillon : Poids moyen : 6825 Dist. moyenne : 460 km		France.	Enquête Hanappe : 1742 établissements français, 5110 envois stratifiés par branche d'activité et taille. 3 envois par entreprise.	1988

						Val moy /envoi : 111.500 FF		
Enquête portant sur des transporteurs en compte propre et pour compte d'autrui								
HCG, 1996 : UK value of time 1 : S.P. abstrait.	S.P. contextuelles abstrait. Modèle logit.	LGV tiers, LGV propre, HGV tiers, HGV propre.	39,81 /h.véh. 32,40 /h.véh. 43,51 /h.véh. 32,40 /h.véh.		Royaume - Uni.	270 entreprises. 9 choix par entreprise.	1995	
HCG 1996 : UK value of time. SP "route choice."	SP entre itinéraire à péage et sans péage. Modèle Logit.	LGV tiers, LGV propre, HGV tiers, HGV propre.	13,89 /h.véh. 15,74 /h.véh. 18,51 /h.véh. 54,62 /h.véh.		Royaume - Uni	270 entreprises. 9 choix par entreprise.	1995	
Transporteurs pour compte d'autrui								
Fosgerau, lien fixe du Storebaelt, S.P.	S.P. choix modal : route+ ferry / route + pont	"trucks" "road train" "articulated vehicle".	47,64 /véh.h. 23,79 /véh.h. 21,44 /véh.h.	Fosgerau estime un modèle pour les camions chargés un autre pour les camions à vide. Il existe également un modèle R.P. mais celui-ci ne débouche pas sur le calcul d'une VOT.	Danemark	153 transporteurs routiers ou chargeurs. Jusqu'à 35 observations par jeu.	1989	
Projet Rio Antirio (TRD [1995]).	R.P.	Trucks	de 29,81 /véh.h à 31,26 véh.h.	Ne précise pas l'alternative transport par camion. Ne prend en compte que la valeur du temps du conducteur et non celles du camion et des marchandises.	Grèce	N=340	1994	

L. Wynter, [1995b] S.P.	S.P. sur un envoi existant: Transfer Price	Route (choix d'itinéraire)	74,03 /h. véh	Interview téléphonique auprès des transporteurs (RTS 44).	France	Echantillon utilisable : 356 réponses	1994
L. Wynter, [1995b] R.P.	R.P., logit	Route (choix d'itinéraire)	27,71 /h.envoi	idem.	France	400 expéditions.	1994
Blauwens G., Van de Voorde, [1988]	R.P. agrégées. Le logarithme de la part modale sur chaque OD est une fonction des différences de coût et de temps	Intermodal Transport routier, Navigation fluviale	0,0000848 * valeur du chargement		Belgique		1981
Autres situations							
McKinsey & Company			32,6 /hr.envoi	Méthode du coût de production			1986
NEA [1991]			34,29 /hr.envoi	Méthode du coût de production			1991

Ces résultats suggèrent les commentaires suivants

- Les estimations disponibles concernent le transport interurbain. On trouve ici une spécificité du transport de marchandises, car pour le transport de voyageurs, on observe une répartition plus équilibrée entre les travaux portant sur l'urbain et ceux portant sur l'interurbain.
- L'essentiel des valeurs du temps estimées pour le transport routier sont comprises entre 25 et 40 €/97/envoi. Cette observation peut être interprétée de deux manières soit qu'on insiste sur la cohérence de ces résultats qui avec des méthodes et des contextes différents aboutissent à des résultats du même ordre de grandeur, soit qu'on souligne l'amplitude de cet intervalle, dans un rapport de pratiquement 1 à 2, pour mettre en évidence le caractère stochastique ou fragile de ces estimations.
- Quelques estimations se démarquent nettement de cet ensemble cohérent de valeurs sans qu'il soit aisé d'en trouver la raison. Il s'agit notamment des estimations réalisées dans les pays scandinaves par Fridstrom et alii [1994] ainsi que Bergkvist et Westin [1996] qui trouvent pour la Norvège et la Suède des valeurs inférieures à 2 €/97/h.envoi, tandis que Widlert et Bradley aboutissent à des résultats à peine supérieurs. Cette différence s'explique difficilement : part des matières premières dans les flux de marchandises de ces deux pays, concentration des transports de matières à forte valeur dans l'extrémité sud du pays où les distances de transport sont relativement faibles, improbable nonchalance nordique. Interrogé sur ce point Bergkvist invoque la diversité des biens, des distances de transport et des chargeurs, facteurs certes susceptibles d'expliquer l'hétérogénéité observée des résultats mais qui ne fournit pas d'explication à la spécificité scandinave observée au sein de ceux-ci. Une autre explication réside dans la plus grande durée moyenne des transports en Suède 18 heures contre par exemple 2 heures aux Pays-Bas.
- Les valeurs du temps estimées par les méthodes de Préférences ne sont pas fortement éloignées des valeurs calculées d'après la méthode des coûts de production, soient 32 €/97/h.envoi pour McKinsey, 34 €/97/h.envoi pour le NEA. Doit-on pour autant y voir une validation de la méthode des coûts de production ? Rien n'est moins sûr puisque la plupart de ces études ne portent que sur l'activité des chargeurs ou que sur celle de transporteurs. Or, il est possible que les consentements de chacune des parties ne soient pas éloignés de ceux estimés par l'approche par les coûts, mais cela ne permet pas de conclure que ces surplus ne doivent pas s'ajouter.
- La comparaison directe de ces résultats avec les chiffres utilisés dans les méthodes nationales d'évaluation est peu concluante, en raison d'une différence d'unité. Les estimations présentées ci-dessus utilisent des francs/h.envoi tandis que les évaluations nationales utilisent des francs/h.véhicule. Or, la conversion n'est pas sans difficulté : si l'on s'en tient aux 5,6 envois / camion (Estève, [1996]) de l'enquête chargeur Hannappe [1988] à partir desquels sont élaborées les évaluations de Fei Jiang, on trouve 155,74 €/camion à comparer aux 30,18 € / poids lourds de la directive du SETRA. Mais Méteyer par un calcul différent (9,5 t. en moyenne de chargement d'un PL retours à vide compris) arrive à 55 € par camions. A l'inverse l'utilisation des chiffres de Bergkvist (0,67 envois par camion), aboutit seulement à 0,92 €/camion. On peut y voir ici une des limites - probablement pas insurmontable- de l'approche par les Préférences Déclarées désagrégées qui analyse des choix portant sur des envois et ne peut donc produire des évaluations qu'en terme de valeur/envoi.hr.
- Les résultats concernant la valeur du temps en transport par rail sont quant à eux fortement contrastés. De Jong et alii aux Pays Bas et Jiang en France trouvent certes des chiffres proches de 25 €/97 mais dans une unité différente /h.wagon pour de Jong, /h.envoi pour Fei Jiang. Quant aux résultats obtenus par Widlert en Suède (4,3 /h.envoi ; ou 0,59 /h.wagon), ils sont comme pour la route fortement inférieurs aux autres résultats connus.

On doit également souligner que les valeurs présentées ici sont des valeurs moyennes. De fait la valeur du temps varie selon de nombreux critères comme la distance, le poids, la valeur de l'envoi, le type de marchandises. La sensibilité de la valeur du temps à ces différents paramètres sera développée plus loin. Il faudrait compléter ces résultats en connaissant : taille moyenne de l'envoi, distance moyenne de déplacement, valeur moyenne de l'envoi, durée moyenne. Une part non négligeable des différences observées pourrait ainsi s'expliquer par des différences dans la définition retenue pour les envois. L'enquête réalisée par l'INRETS (Hannappe [1988]) considère en effet les envois non postaux supérieurs à un kilo. D'autres définitions peuvent être retenues dans d'autres études...

Conclusion

Dans les chapitres précédents, nous avons vu de quelle manière les bénéfices d'un gain de temps pour l'économie sont évalués sur la base du différentiel de coût de déplacement des transporteurs de transport. En parallèle à cette approche par les coûts, s'est développé un corps théorique et un ensemble important de travaux d'applications qui s'appuient conjointement sur un paradigme de comportement et une technique de collecte de données. La réunion entre la maximisation de l'utilité stochastique et les SP constituant finalement l'assise sur laquelle s'est développé l'essentiel de la production scientifique sur la valorisation des gains de temps en transport de marchandises.

Chacun des ces deux piliers possède ses faiblesses, la RUM comme représentation simplifiée de mécanismes de décisions qui sont d'une réalité plus complexe, les SP comme mode de mesure des préférences basées sur des choix hypothétiques ; mais en même temps, des atouts : la première comme moyen de subsumer dans une relation lisible l'ensemble des mécanismes par lesquels un gain de temps peut affecter la situation d'un agent économique, les seconds en s'appuyant sur des résultats de validation qu'on ne peut écarter.

De même que l'on ne peut pas écarter les résultats numériques auxquels ces méthodes ont conduit.

Reste que la description que l'on a effectuée de cette méthode laisse de côté de nombreux développements et pourrait ainsi donner une idée amputée de celles-ci.

Trois de ces points doivent particulièrement retenir notre attention, ils sont développés dans le chapitre suivant.

Chapitre 4 : Compléments sur la mesure de la valeur du temps

Le chapitre précédent a posé les fondements de la mesure de la valeur du temps en transport de marchandises sur la base de la théorie de la maximisation l'utilité stochastique et de données de RP et de SP. Fournir une présentation complète de l'ensemble de ces approches occuperait une place excessive. Y ajouter une présentation des évolutions en cours de ces approches en prendrait décidément trop. Ce domaine connaît en effet un renouvellement constant dont témoigne l'existence de plusieurs revues scientifiques internationales spécialisées.

Toutefois trois éléments paraissent suffisamment importants pour justifier un traitement spécifique.

En premier lieu, le mode opératoire utilisé dans les enquêtes de Préférences Déclarées. Les méthodes d'expression des préférences sont multiples. Or, des résultats convergents montrent la sensibilité des résultats au mode opératoire retenu pour les enquêtes. Il importe donc de présenter les principales variantes disponibles pour l'expression (ou, si l'on transpose le terme anglo-saxon : "l'élicitation") des Préférences Déclarées, d'identifier celles qui gagnent à être utilisées.

En second lieu, l'opposition entre les données de type RP et de type SP peut être réduite par l'utilisation conjointe des différents types de données. On montre dans quelle mesure ces méthodes permettent de bénéficier des avantages de chacune de ces approches.

En troisième lieu, on s'intéresse à la prise en compte de l'hétérogénéité dans les méthodes de mesures de la valeur du temps. Nous nous en sommes tenu, dans le chapitre précédent, à une simplification en supposant que le terme aléatoire ou les termes d'interaction contenus dans la fonction d'utilité stochastique peuvent rendre compte des variations de "goût" entre individus. Une simplification sur laquelle il est maintenant temps de revenir, en montrant la variété de techniques qui permettent d'introduire l'hétérogénéité dans le paradigme RUM.

1 Mode opératoire

Nous examinons, tout d'abord, de quelle manière les alternatives proposées dans un exercice de Préférences Déclarées peuvent être construites par l'analyste (alternatives contextuelles, adaptatives ou encore stratégiques), et, dans un second temps, de quelle manière les préférences peuvent être exprimées par l'interviewé (classement, notation, choix binaire).

1.1 Les alternatives proposées peuvent être "contextuelles", "adaptatives" ou encore "stratégiques"

Les alternatives proposées au choix des personnes interviewées peuvent être élaborées selon des modalités différentes. On présente trois modes de construction de ces alternatives. Elles peuvent être contextuelles, adaptatives ou encore stratégiques.

Contextuelles

Les alternatives contextuelles sont élaborées en fonction des caractéristiques d'un envoi réel effectué par l'entreprise interrogée. Dans une première partie de l'enquête, on interroge les décideurs sur des envois récents. Les réponses à cette première partie sont alors utilisées pour construire les différentes alternatives du jeu de choix discret. Les valeurs des différents attributs sont construites à partir des valeurs observées, modifiées du pourcentage désiré. On base donc l'entretien sur un ou plusieurs "envois" réellement effectués par l'entreprise. Le réalisme de l'exercice est ainsi accru. Un exemple de cette approche peut être trouvé dans de Jong et alii [1995]. Widlert [1994] montre, dans le domaine des voyageurs, comment l'adaptation des attributs aux niveaux réellement connus par les individus est un des facteurs qui influence le plus les résultats d'un exercice de Préférences Déclarées¹²⁴.

Itératives ou adaptatives

Dans les SP itératives, l'élaboration de chaque alternative prend en compte les réponses précédentes de la personne interviewée. Dans cette variante le jeu de Préférences Déclarées suit une dynamique. Le premier choix déclaré par la personne interviewée est utilisé pour sélectionner ou bâtir le choix suivant, ainsi de suite jusqu'au terme de l'entretien. "Sélectionner ou bâtir " car on peut s'en tenir soit à sélectionner dans l'ensemble des jeux disponibles une des configurations compatibles avec les choix précédemment formulés ("fixed adaptive design", ou plan d'expérience adaptatif fixe), soit recalculer les valeurs des attributs qui devraient permettre de converger plus vite vers les coefficients sous-jacents aux réponses de l'interviewé ("endogenous adaptive design", ou plan d'expérience adaptatif endogène). On collecte ainsi des informations qui s'approchent de plus en plus de la valeur du temps critique de la personne interrogée. Une troisième variante repose sur les plans d'expérience adaptatifs exogènes ("exogenous adaptive designs"). On utilise alors une donnée descriptive de l'individu (par exemple son revenu) pour restreindre à priori l'ensemble des choix proposés.

Bien que cette approche soit très séduisante, l'état de l'art tend toutefois à mettre en garde contre une telle méthode qui viole certaines hypothèses canoniques du modèle multinomial. On est, en effet, dans un cas de corrélation entre les variables explicatives et le terme stochastique, dont l'économétrie nous apprend qu'appliquée aux Moindres Carrés Ordinaires elle produit un biais sur les coefficients estimés. Qu'en est-il dans le cas des modèles logit ? Bradley et Daly [1993] ont tenté, par un exercice de simulation, d'évaluer l'amplitude de ce biais pour différents types de plan d'expérience. Leurs observations sont les suivantes :

¹²⁵ Ces résultats défavorables aux designs adaptatifs endogènes sont vérifiés lorsque l'adaptation porte sur un seul attribut (coût seul par exemple) et que cet attribut se voit affectée la valeur correspondant à la médiane de l'intervalle possible des valeurs du temps. Quand on utilise d'autres mécanismes d'adaptation tels que : variation répartie entre le temps et le coût, ou encore variation ne correspondant pas forcément à la valeur du temps médiane ; certaines difficultés se trouvent atténuées. Les corrélations entre les niveaux des attributs coût et temps et les coefficients individuels de temps deviennent beaucoup plus faibles. Le biais dans l'estimation de la valeur du temps est également réduit.

- Lorsque les attributs sont adaptatifs, il apparaît une corrélation entre les niveaux des attributs, cette corrélation est importante pour les designs adaptatifs endogènes.
- Les coefficients estimés $\hat{\beta}$ sont comparés à l'espérance du coefficient introduit en entrée de la simulation $E(\beta)$. L'ensemble des designs utilisés, à l'exception des designs adaptatifs endogènes, produisent des coefficients estimés compatibles, sur la base d'un test de Student, avec les "vraies" valeurs des coefficients. Par contre, le design adaptatif endogène produit des valeurs du temps non conformes aux données d'entrée de la simulation et parfois dotées du mauvais signe¹²⁵.

Il en ressort une recommandation ferme concernant les biais créés par les techniques de design adaptatif endogène, recommandation qui, sur la base de simulation complémentaire, est amoindrie mais pas supprimée dans les situations où les mécanismes du design adaptatifs sont modifiés pour les rendre moins déterministes ou plus exogènes.

Bates [1998], par ailleurs, souligne que, sauf à être certain que la fonction d'utilité retenue rend compte parfaitement des préférences, on s'impose, par une approche adaptative, de donner une importance trop forte aux observations collectées. Dans l'approche alternative, c'est-à-dire non adaptative, on peut tout à fait collecter des observations incohérentes ce qui permet soit de modifier la formalisation sous-jacente, soit d'assumer le caractère approché de celle-ci. En procédant de manière adaptative on s'interdit de prendre en compte les observations qui, par rapport à la formalisation initialement retenue, ne paraissent pas cohérentes. Sur ce point Bates et Terzis [1992] proposent toutefois une méthode qui réduit l'amplitude de ce risque en utilisant une procédure d'adaptation plus "souple".

A long terme /stratégiques

Tandis que dans les Préférences Déclarées traditionnelles, l'entreprise doit formuler ses réponses en étant contrainte par l'état actuel de son processus de production et de son réseau de distribution, les Préférences Déclarées Stratégiques placent les entreprises dans une situation fictive où elles peuvent réorganiser leur processus de production et de distribution pour mieux profiter de la nouvelle offre de transport. Dans un tel contexte elles pourront prendre avantage plus complètement de l'amélioration de l'offre qui leur est proposée. Dans une des rares applications de cette approche réalisée aux Pays-Bas, De Jong et Gommers [1992] concluent "*Les résultats de l'enquête de SP stratégiques indiquent que face à des pertes de temps importantes, la perte monétaire impliquée pour les firmes peut à long terme représenter deux à trois fois la valeur du temps des Préférences Déclarées Contextuelles pour le transport routier*". La littérature ne fournit toutefois pas d'autres exemples de valeurs du temps mesurées dans un tel contexte.

Ces différentes modalités de présentation des choix discrets ne sont naturellement pas concurrentes. Elles peuvent être combinées selon les besoins de l'enquête, pouvant donner lieu, si besoin est, à l'élaboration de scénarios itératifs, contextuels et de long terme.

Au-delà de ces différences de présentation des alternatives, existent également des différences dans le mode d'expression des préférences, que l'on propose d'exprimer celles-ci au moyen de choix binaires entre alternatives, de classements entre plusieurs alternatives ou de notation de celles-ci.

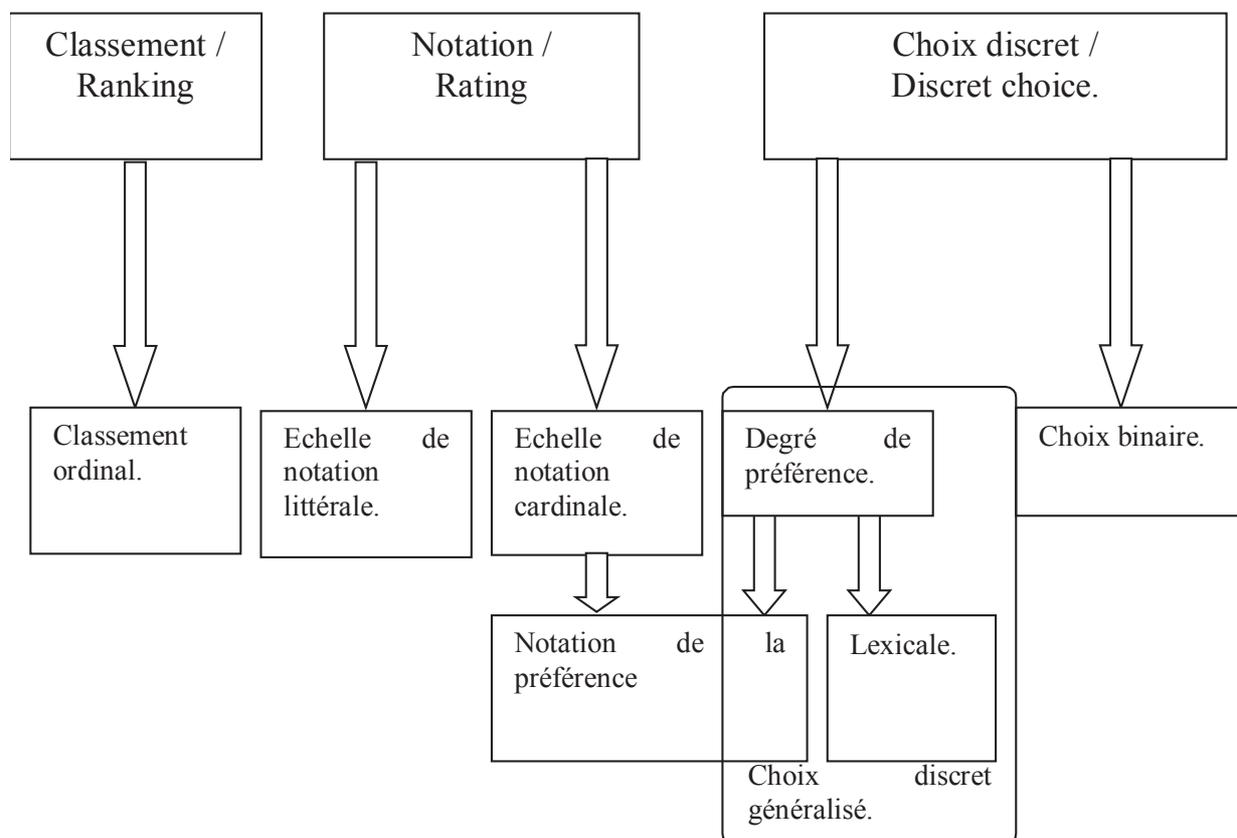
1.2 Les préférences peuvent être exprimées selon différentes modalités

Différents modes d'expression des préférences peuvent être utilisés pour recueillir les données. Louvière [1988] répartit ces méthodes en deux grandes catégories : "judgement data", constitués par les classements et les notations et "choice data" comprenant les choix discrets et l'allocation sous contrainte. Nous lui préférons une classification plus détaillée entre :

- la notation des alternatives,
- le choix d'une alternative,
- le classement entre alternatives.

Cette classification est présentée sur la Figure 16.

Figure 16 : différentes modalités d'expression des préférences



Le choix d'une approche n'est pas sans effet sur les résultats obtenus. Benjamin et Sen [1982] comparent ainsi quatre méthodes de collecte des données (les trois citées ci-dessus + la notation unidimensionnelle). Leur constat est double : (i) les utilités partielles des attributs calculées à partir de différentes sources de données *"ne sont pas fortement corrélées"*, (ii) les utilités relatives des attributs diffèrent parfois fortement selon la formulation utilisée : par exemple *"le ratio entre les coefficients de coût et le coefficient spécifique au mode était de 3 pour l'analyse fonctionnelle mais seulement de 0,9 pour le trade-off"*.

Plus récemment, Widlert [1994] a comparé les résultats obtenus en utilisant plusieurs modalités de passation des exercices de Préférences Déclarées. 25 méthodologies concurrentes ont été confrontées sur les voyageurs de la ligne ferroviaire entre Stockholm et Göteborg. Les valeurs du temps obtenues varient d'un facteur de 1 à 4 d'une méthode à l'autre.

Il importe donc de s'interroger sur le mode approprié d'expression des Préférences Déclarées. Si les méthodes de notation (rating) ou de classement (scaling) sont apparues attractives lors des développements initiaux des SP, il semble qu'elles aient aujourd'hui été délaissées par rapport à un mode de réponse fondé sur des choix. On présente ces méthodes, en y ajoutant une méthode dite "naïve", que peuvent rencontrer les praticiens et qui est présentée dans l'Encadré 7.

Encadré 7 : Préférences Déclarées la méthode naïve

La méthode naïve est illustrée par la séquence de question suivante :

Pour chacun des différents péages indiqués ci-dessous indiquez si vous préférez utiliser l'autoroute à péage ou la route alternative sans péage.

	Autoroute	Route alternative.
X ₁ Eur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
X ₂ Eur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
X ₃ Eur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
X ₄ Eur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
X ₅ Eur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

En général cette question est contextuelle, elle concerne soit un trajet identifié dans la partie antérieure du questionnaire, soit un trajet typique ou moyen, sur une OD susceptible d'être régulièrement empruntée par le transporteur.

En fait cette méthode emprunte à la fois au choix discret, car elle repose sur une séquence de choix binaires entre alternatives caractérisées par un attribut, la seule différence étant que seul un des attributs est modifié.

Elle est proche des méthodes de Transfer Price : puisqu'elle permet de collecter un prix de transfert, ou du moins un intervalle de prix de transfert, par une succession de questions fermées.

Le risque de cette méthode est qu'elle pourrait être très sensible au biais stratégique de la part des répondants qui pourraient à dessein minorer le consentement à payer qu'ils déclarent. C'est peut-être ici la conséquence d'un mode de fonctionnement du questionnaire très transparent, et moins apte que d'autres à brouiller les pistes pour déjouer le comportement de passager clandestin des répondants. Si toutefois il existe des raisons de penser que l'effet du biais stratégique pourrait ne pas être important pour le questionnaire concerné, la méthode "naïve" peut fournir une approche simple, peu coûteuse et très lisible de la valeur du temps. Un autre avantage est qu'elle permet d'obtenir une distribution de la valeur du temps. Un élément important est que cette méthode mesure conjointement la valeur des gains de temps et des autres services liés à l'infrastructure tarifée. Ceci peut toutefois ne pas être un problème lorsque l'on s'intéresse à une prévision de trafic puisque dans la réalité l'infrastructure combinera de manière inséparable les deux avantages : temps et services autoroutiers.

Notation des alternatives (rating)

Dans la méthode des notations, les préférences sont collectées sous forme de notes attribuées aux alternatives. A priori cette approche contient plus d'informations que les autres, puisqu'elle indique non seulement quelle alternative est préférée mais également de combien elle l'est.

Différents modes de traitements peuvent alors être proposés. Tout d'abord, on peut utiliser les notes pour reconstituer des choix binaires (c'est là l'utilisation LASP proposée par Fowkes et alii [2001]). Cette utilisation semble contre nature car elle ne tire pas parti de la spécificité des ratings qui est de fournir une "distance" entre les alternatives. Les mêmes auteurs proposent une variante dans laquelle les ratings sont convertis en probabilité de la manière suivante :

$$\text{Si note alt}_1 > \text{note alt}_2 : P(\text{alt}_1) = 0,5 * (\text{note alt}_1) / (\text{note alt}_2) ; p(\text{alt}_2) = 1 - p(\text{alt}_1).$$

$$\text{Si note alt}_2 > \text{note alt}_1 : P(\text{alt}_1) = 0,5 * (\text{note alt}_1) / (\text{note alt}_2) ; p(\text{alt}_2) = 1 - p(\text{alt}_1).$$

En second lieu, on peut utiliser les notes comme les variables dépendantes d'une fonction d'utilité, que l'on peut dès lors directement estimer, des méthodes classiques telles que les MCO pouvant alors être utilisées. La nature "discrète" des échelles de note et les différences d'hypothèses sur la distribution des aléas dans les MCO et le MNL limitent toutefois la validité de cette approche.

D'autres manières d'utiliser l'information peuvent être proposées. Henry [1982], Winship et Mare [1984], Crask et Fox [1987] proposent une estimation dans laquelle la note est vue comme la réalisation stochastique d'une variable continue. Une autre approche proposée par Hensher [1994] est de considérer la variable ordinale comme le résultat d'une transformation non strictement croissante de l'échelle de préférence réelle : une variable sous-jacente inconnue est regroupée en catégories qui sont ordonnées mais ne sont pas séparées par une distance fixe.

Cette méthode a été mise en œuvre en transport de marchandises par Viera [1992]. Les responsables logistiques interviewés indiquent, non seulement laquelle des alternatives ils préfèrent, mais également **l'intensité de cette préférence** sur une échelle de 1 à 9, la première de ces notes impliquant une forte préférence pour l'alternative A, la note 5 correspond à une indifférence tandis que la note 9 indique une claire préférence pour la seconde alternative. Un traitement économétrique conséquent est alors proposé, conformément à Maddala [1983], basé sur l'hypothèse de valeurs seuils pour l'utilité telles que ¹²⁶ :

$$\left\{ \begin{array}{l} P(y = 9) = P(\alpha_{i8} < U) \\ P(y = 8) = P(\alpha_{i7} < U \leq \alpha_{i8}) \\ \vdots \\ P(y = 1) = P(U \leq \alpha_{i1}) \end{array} \right. \quad (4.1)$$

avec :

y	note attribué par le chargeur,
P()	probabilité d'attribuer la n ^{ème} note,
α_{in}	seuil de passage de la n ^{ème} note,
U	utilité (stochastique) de l'alternative considérée.

Ainsi la probabilité pour que l'individu i attribue la note 9 à l'alternative est égale à la probabilité pour que l'utilité de l'alternative dépasse le seuil α_{i8} . Les seuils α_{in} peuvent selon les spécifications être supposés identiques au sein de la population ($\alpha_{in} = \alpha_n \forall n$) ou de façon plus conforme à l'intuition, varier d'un individu à l'autre.

Pourtant la méthode utilisée par Viera reste isolée par rapport à l'ensemble des travaux appliqués aussi bien aux voyageurs qu'aux marchandises. Une des faiblesses essentielles des méthodes de rating réside dans la difficulté à trouver des indicateurs statistiques pour départager des spécifications concurrentes : "*le comportement statistique de spécifications concurrentes ne peut pas être testé*"^{lxv}. (Louvière [1988]).

Cette dernière limitation pourrait expliquer le nombre limité d'applications de cette méthode dans les travaux contemporains.

Une autre solution est alors de proposer aux interviewés de classer les alternatives.

Classement entre les alternatives

Cette approche est parfois appelée "ranking" ou "monotone conjoint measurement" (Benjamin et Sen [1982]).

¹²⁶ On peut cependant ici s'interroger sur la cohérence du traitement économétrique proposé qui considère la note comme une note d'appréciation de l'alternative et non comme une indication de l'intensité de la préférence. Si les fondements de la méthode utilisée par Viera s'apparentent donc à un choix discret, la modélisation qui en découle les analyse comme des données de rating.

Définition et traitement des données

Dans ce mode de collecte des données, les préférences ne sont pas exprimées par un choix mais par un classement entre les alternatives proposées.

L'estimation de ces modèles s'est initialement basée sur des techniques MONANOVA¹²⁷ pour utiliser simultanément toute l'échelle de préférence dans le processus d'estimation. Mais les modes de traitement des observations basés sur l'analyse de la variance ont été abandonnés, en raison de la nature déterministe du modèle qui était ainsi appliqué. Un autre traitement peut être d'éclater les échelles de préférences ainsi obtenues en plusieurs choix binaires : on peut alors appliquer les modèles de choix discret. On peut encore conserver l'ensemble du classement exprimé et lui appliquer un "rank-order logit".

Hypothèses implicites

Louvière [1988] souligne que les utilisateurs des données de ranking font les hypothèses implicites suivantes *“les classements individuels sont basés sur une fonction strictement additive (absence de non-additivité ou d'interactions) des utilités partielles inconnues^{lxvi}”*. Louvière, citant Chapman et Stealin [1982], Chapman [1984], Hensher et Louvière [1983], a analysé les méthodes pour la modélisation des choix modaux à partir des données de classement. Ces auteurs identifient trois hypothèses sous-jacentes à l'utilisation de ces méthodes : *“a> le model MNL est une approximation satisfaisante des choix inobservés impliqués par le classement. b> Les individus sont parfaitement transitifs dans les choix non observés impliqués par le classement. c> Les individus sont parfaitement cohérents dans leur comportement de classement des alternatives non observées impliquées par le classement.”* Or, ces hypothèses ne peuvent pas être testées car les choix réels ne sont pas observés mais les modèles sont estimés à partir de choix simulés résultant d'un “éclatement” des préférences.

Louvière [1988] insiste également sur une limite importante des méthodes de ranking. Pour l'estimation MCO des utilités élémentaires on ne dispose pas d'indicateur pertinent de la qualité de l'ajustement. Les indicateurs utilisés dans la stratégie d'estimation de ces modèles sont une fonction de $(1-R^2)$ or le R^2 , qui sont limités par au moins deux considérations : Dawes et Corringan [1974] ont ainsi démontré que : (i) *“de nombreuses spécifications possibles peuvent produire des qualités d'ajustement approximativement équivalentes^{lxvii}”* et, plus inquiétant, (ii) *“des spécifications erronées peuvent produire des indicateurs de qualité d'ajustement meilleurs que la spécification exacte dans des données réelles.^{lxviii}”*

Résultats

Hensher et Louvière [1983] évaluent l'effet du nombre d'alternatives sur les coefficients de la fonction. Widlert [1994] dans un article intitulé *“Stated preference studies : the design affects the results^{lxviii}”* montre comment le classement favorise les stratégies de réponse lexicographiques définies comme celles dans lesquelles les interviewés basent leur classement sur un seul ou deux attributs. Bradley et Daly [1994] suggère que les alternatives les moins bien classées contiennent plus de bruit que celles classées en tête des préférences. Pearmain [1992] affirme lui *“les personnes interrogées se montrent souvent incohérentes dans leur classement, en particulier pour les combinaisons qui sont les moins intéressantes^{lxix}”*. Il souligne également la faible parenté entre ce mode d'expression des préférences et le mode courant de sélection d'une alternative dans le monde réel.

Un résultat intéressant est produit par Bates et Roberts [1983]. Il repose sur l'idée de profondeur du classement (nombre d'alternatives classées). Il cherche à vérifier l'hypothèse selon laquelle les premières alternatives classées contiennent plus d'informations sur les préférences des voyageurs que les alternatives

¹²⁷ MONotonic ANalysis Of VARIance (Analyse monotone de la variance).

¹²⁸ *“Etudes de Préférences Déclarées, le plan d'expérience détermine les résultats”*.

mal classées : "la précision avec laquelle les individus classent les options peut décliner en fonction de l'intérêt décroissant des options^{lxxv}". Certes, et comme on peut s'y attendre du fait de la croissance du nombre d'observations, l'écart type des coefficients décroît avec l'augmentation de la profondeur des classements, mais cette diminution est inférieure à celle que permettrait l'introduction de variables explicatives indépendantes^{lxxvi}. Une recommandation provisoire formulée par Bates est alors de s'en tenir à une profondeur des classements inférieure ou égale à 4. Hausman et Ruud [1987] font un constat similaire : les coefficients décroissent tandis que l'on introduit des classements de plus en plus profonds. Ils en concluent que les données de ranking sont probablement hétéroscédastiques, les alternatives classées premières ont probablement un terme d'aléa moins dispersé que celles classées en dernier.

Les questions portant sur la "profondeur" du classement à proposer aux personnes interviewées pourraient ne pas être les plus importantes. De fait, l'obstacle principal à l'utilisation des méthodes de classement réside plutôt dans les difficultés présentées précédemment et liées à l'impossibilité à disposer d'indicateurs fiables de la qualité des modèles. Ce point pourrait expliquer que cette modalité d'expression des préférences soit aujourd'hui peu présente dans les travaux applicatifs.

Une autre manière de collecter des informations sur les choix hypothétiques est alors de recourir à des choix discrets.

Choix d'une alternative

Dans cette approche, également désignée comme "first preference choice class", la question est alors "préférez-vous l'alternative A ou l'alternative B ?" Dans la majorité des exercices, on se limite, pour des raisons d'ergonomie du questionnaire, à des choix binaires impliquant seulement deux alternatives¹²⁹. On obtient alors un ensemble d'observations, qui permettent l'estimation des coefficients de la fonction d'utilité.

Le mode d'expression des préférences peut parfois prendre des modalités plus complexes. Par exemple sur une **échelle lexicale**. Dans ce dernier cas les préférences peuvent être traitées :

- en recodant les degrés de préférences en terme de probabilité de choix (probabilité prédéfinie (Bates et Roberts [1983]) ou probabilité estimée (Ortúzar [1994c]),
- en recodant des degrés de préférence par des intervalles de valeur de la fonction d'utilité (des seuils prédéfinis ou non séparent les différents degrés de préférence)

Wardman [1988] propose que le choix soit exprimé de manière plus élaborée : au moyen des 5 modalités suivantes : "préfère A absolument" ou "plutôt", "indifférent", "préfère B absolument" ou "plutôt". On pourra dénommer cette formulation "**SP généralisées**" selon l'usage de Ortúzar [1994c]. Chacune de ces modalités peut alors être recodée en une probabilité. Bates et Roberts [1983] proposent une transformation devenue habituelle de cette échelle sémantique (transformation dite de Berkson-Theil) par l'ensemble de valeurs (0,9; 0,7; 0,5; 0,3; 0,1)¹³⁰. Cette transformation offre l'avantage de permettre l'utilisation de techniques "connues" de régression linéaire sur les probabilités de choix. Wardman teste cette formulation et conclut "les estimations obtenues, en utilisant les probabilités supposées a priori, pour les valeurs du temps et l'équivalent monétaire de la constante spécifique de l'alternative étaient similaires à celles obtenues par les choix discrets^{lxxvii}". Sur ce point, Ortúzar [1994c] conclut de manière

¹²⁹ Louvière et Hensher [1982] donnent l'exemple d'un choix entre quatre alternatives.

¹³⁰ L'hypothèse d'isodistance entre les probabilités apparaît plus fondée que celle d'isodistance entre les utilités, puisque c'est bien en terme de choix que les répondants sont invités à formuler leurs préférences, et non d'utilité. Il est toutefois possible si on s'en tient aux constations de Bates [1984] que le choix entre ces deux hypothèses n'ait pas une influence déterminante sur les résultats : "we tested an alternative assumption that the points were equally spaced along the utility axis : this made no appreciable difference to the results." [Une autre hypothèse a été testée, selon laquelle les points étaient équidistants sur l'axe des utilités : cela n'a pas créé de différence sensible sur les résultats].

inverse. Il constate que les coefficients relatifs des fonctions d'utilité sous-jacente ne sont pas indépendants de l'échelle "numérique" associée à l'échelle "sémantique". Il propose une méthode d'estimation du modèle logit légèrement différente à partir d'une échelle de préférence sémantique dans laquelle on ne doit pas spécifier de manière exogène une codification numérique des préférences sémantiques. L'échelle numérique implicite des probabilités de choix est estimée en même temps que la fonction d'utilité sous-jacente.

Une autre solution est d'utiliser directement une échelle numérique, comme le fait Viera [1992] cette solution se rapproche alors de celles des ratings.

On pourra cependant se demander si les complications analytiques – par ailleurs surmontables – introduites par les SP généralisées sont proportionnées par rapport aux résultats obtenus. Un résultat satisfaisant est que les seuils d'utilité, qui séparent les différentes classes permettant d'éliciter les préférences, apparaissent dotés de qualités statistiques satisfaisantes. Par exemple, Ben-Akiva et Morikawa [1990a et 1990b] appliquent un modèle de SP à des données intra-modes et intermodes aux Pays-Bas. Cinq modalités de réponses sont proposées, ce qui sous l'hypothèse de symétrie des valeurs seuils implique l'estimation de deux de celles-ci. Dans les deux modèles estimés les valeurs seuils se voient dotées de coefficients de Student élevés et supérieurs à la quasi-totalité des attributs.

On pourra enfin se demander si le recours à des SP généralisées fournit des résultats différents et surtout plus fiables que les choix discrets binaires. Ortúzar [1994b] donne un élément de réponse. Après avoir estimé les paramètres de la fonction d'utilité par des données de choix discret généralisé, il reformate les données d'entrée des catégories "sûrement A, probablement A, indifférent, probablement B, sûrement B", vers les catégories binaires "A" et "B". Les observations correspondant à des situations d'indifférence sont éliminées. Les paramètres de la fonction d'utilité sont re-estimés à partir des données ainsi modifiées. Ortúzar [1994b, p. 301] conclut qu'après *reformatage*, "les modèles logit binaires estimés produisent des résultats non seulement clairement différents mais aussi clairement inférieurs, à la fois en terme de précision des estimations des paramètres et en terme de qualité d'ajustement générale ^{lxxiii} 131".

Les difficultés de l'approche par les choix déclarés

Les difficultés propres aux choix déclarés, qu'ils soient ou non généralisés, sont liées au caractère abstrait de l'exercice, qui nécessite que les interviewés ne soient pas décontenancés par ce type de question.

Une autre difficulté réside dans la "fatigue" des répondants qui semblent se lasser de l'exercice lorsque le nombre de choix devient important. Mazzantini et Montini [2000, p. 8] résumant ainsi les prises de position sur ce sujet "Adamowicz et al [1998] proposent un intervalle possible compris entre 1 et 32 choix par individu interviewé. Hanley et al.[1998] suggèrent un maximum de 8 choix par individu. Kroes et Sheldon [1988] suggèrent quant à eux de limiter les profils entre 9 et 16 ^{lxxiv}". Sur ce point, Bradey et Daly [1994] propose une mesure de cette fatigue. Il groupe les observations selon leur numéro d'ordre (les premières réponses fournies par tous les individus composent un ensemble de données, les secondes réponses un autre ensemble et ainsi de suite). Par une approche de scaling il mesure le rapport des variances des termes stochastiques entre ces différentes données, qui donne une indication sur le "bruit" présent dans les différents ensembles de données. Il conclut "un phénomène de fatigue semble se mettre en place autour de la 5^{ème} réponse et devenir plus important au moment de la 12^{ème} réponse ^{lxxv}". Daly nuance toutefois la portée de cette observation en notant que la prise en compte de l'ordre de réponse

¹³¹ Le résultat est, sur ce point, opposé à celui de Bates. Il reste à déterminer dans quelle mesure ces deux études sont généralisables. Les résultats d'Ortúzar sont un peu paradoxaux puisque, en comparant deux modèles bâtis sur deux échantillons d'une même population (choix discret binaire et choix discret échelonnés) il trouve des résultats comparables en terme de qualité du modèle et en terme de valeur des coefficients. Par contre en comparant un modèle bâtis sur des données échelonnées et un autre modèle bâti sur les mêmes données simplifiées, il trouve que le modèle binaire produit des résultats moins satisfaisants.

ne modifie pas significativement les coefficients obtenus pour le modèle logit. S'il y a fatigue et perte d'efficacité des informations, il n'y a pas de biais important sur les résultats.

D'autres modes d'expressions ont eu un succès plus limité

Pour obtenir un panorama plus complet des techniques disponibles, on doit également considérer les possibilités de mélange entre elles. C'est ce que propose Pearmain [1992] en affirmant *"la combinaison des données SP de classement et des données SP de choix discrets est l'approche la plus prometteuse"*^{lxxvi} 132. On se doit de citer également deux autres approches.

La première qualifiée dans la littérature anglo-saxonne d'**unidimensionnal scaling** (Benjamin et Sen, [1982], dans laquelle on demande aux personnes interviewées de noter des alternatives qui sont définies par un unique attribut. On pourrait voir ici une variété du "rating", variété simplifiée car considérant les attributs de manière indépendante et dont la fortune a été très limitée : elle est presque absente de la littérature. Une des causes de cette infortune réside dans le caractère unidimensionnel de l'appréciation, qui va à l'encontre de la prise en compte de l'aspect multidimensionnel des choix étudiés. Il est donc aisé de souligner le caractère trop simpliste de cette approche unidimensionnelle. Encore faudrait-il que l'approche qu'on lui substitue permette réellement de prendre en compte les interactions entre attributs, tel n'est pourtant pas le cas dans de nombreux travaux qui prennent en compte une formulation additive de l'utilité et ne considèrent pas les effets croisés entre variables. Du moins la collecte de données sur une échelle unidimensionnelle, prive-t-elle "a priori" de la possibilité de prendre en compte les effets croisés entre variables. C'est là la cause probable de son insuccès.

Une autre approche enfin, l'allocation de ressources limitées entre plusieurs alternatives, consiste à mettre à disposition des personnes interviewées une ressource plafonnée (des jetons pouvant représenter un équivalent monétaire) et à leur demander de répartir cette ressource entre différentes alternatives possibles. On trouve cette approche sous l'appellation "**Priority Evaluator Method**" telle que présentée par exemple par Copley et Bates [1988]. L'aspect séduisant de cette technique est d'une part, qu'elle permet aux sondés de considérer ensemble tous les attributs, et d'autre part qu'elle permet d'obtenir directement en terme monétaire une valorisation de chaque alternative. Cette technique s'apparente au "rating", les notes étant remplacées par un équivalent monétaire, la différence principale étant que cette approche impose une contrainte sur le total des "notes" que l'on peut attribuer aux alternatives. Ici encore on doit conclure que cette approche n'a pas connu un succès important. A cela Pearmain [1992] attribue une raison précise : *"on demande aux personnes interrogées de se comporter comme un "quasi planificateur" et non comme un consommateur. Dans ce rôle, les décisions de la personne interviewée sont encore plus éloignées du monde réel qu'elles ne le sont dans des SP"*^{lxxvii}.

Au final, trois méthodes principales d'expression des préférences sont ainsi concurrentes. Au sein de ces méthodes les choix discrets se sont imposés. Il est vrai que le choix binaire a pour lui une moindre difficulté cognitive pour le répondant et une moindre difficulté d'estimation pour l'analyste ainsi qu'une parfaite congruité avec le modèle de la RUM. Il se peut également que le processus de choix binaire reproduise de manière relativement fidèle le processus effectif de choix auquel procèdent les agents économiques : face à la réalisation d'un objectif de déplacement ils évaluent différentes offres et sélectionnent par un arbitrage entre alternatives celle la plus adaptée (tout au plus doit-on ici supposer que les choix binaires sont aptes à représenter de manière adéquate des processus de décision qui dans la réalité s'appliquent le plus souvent à des choix multinomiaux et interdépendants).

De fait, les comportements de transports que l'on analyse couramment sont des choix, et non des notations ou des classements. Il semble donc plus direct et plus fiable de modéliser les déterminants des choix modaux sur des observations de choix plutôt que sur des observations de notation ou de classement.

¹³² L'affirmation de Pearmain n'est toutefois pas très facile à admettre à la vue de l'exemple qu'il fournit puisque l'exercice de classement entre alternatives proposées deux à deux, est presque un exercice de choix discret.

Ces deux dernières méthodes impliquant par ailleurs d'établir une hypothèse sur la manière dont les notations ou classements doivent être convertis en choix (doit-on ainsi supposer simplement que l'alternative classée première ou que celle notée la plus favorablement sera - de manière déterministe - celle choisie ?)

A cet avantage d'ordre "cognitif", s'ajoutent les résultats de travaux comparatifs mettant en concurrence ces différentes méthodes. Pearmain [1992] a ainsi montré qu'un choix discret est moins sensible aux biais que les autres approches de Préférences Déclarées, comme les méthodes de classement ou les indices. Ortúzar [1994b] compare le coût de collecte et la qualité des données correspondant à trois méthodes : classements, choix binaires, et choix binaires généralisés avec échelle de préférence lexicale. Il conclut que chacune des trois méthodes produit des résultats également recevables. Un aspect critique est alors le processus de collecte des données. Ortúzar insiste sur la durée importante de la passation dans le cas du classement : 25 mn par interview contre 15 mn pour le choix discret généralisé et 8 mn pour le choix discret binaire.

On voit ainsi la variété des choix méthodologiques à opérer pour valoriser les attributs d'une offre de transport. On voit aussi comment au sein de cette variété, des options se sont imposées au détriment des autres : choix discrets binaires en ce qui concerne la méthode d'expression des préférences, préférences contextuelles en ce qui concerne le mode de formulation des alternatives. Aussi, cette méthode s'est-elle imposée dans la plupart des travaux récents.

Enfin, le choix binaire produit un résultat qui est congruent dans sa nature avec les comportements réels observés : dans les exercices SP de même que dans la réalité une alternative est choisie. Conséquence de cette congruité dans la forme de la décision, si ce n'est dans le processus qui la gouverne, il est possible de vouloir **combiner** des choix déclarés avec les observations de choix réels. Cette solution qui s'offre de manière élégante lorsque l'on dispose de choix discrets ne trouve d'application aisée pour les deux autres méthodes d'expression des préférences.

Qu'en est-il de cette possibilité de combinaison des données de SP et de RP ?

2 La combinaison des données de Préférences Déclarées et Révélées

Les Préférences Déclarées et les Préférences Révélées offrent deux types de données pour "caler" des fonctions d'utilité sous-jacentes aux choix des transporteurs ou des chargeurs. Longtemps considérées comme issues d'une partition méthodologique étanche, ces deux approches offrent pourtant la possibilité d'une utilisation conjointe, de manière à utiliser dans une estimation unique les informations fournies par l'une et l'autre. Cette approche fait partie de l'ensemble plus vaste des "mixed estimation" présentées par exemple Judge [1984]. Dans le domaine des transports, ces méthodes d'estimation ont été utilisées pour l'estimation de matrices OD (Hendrickson et McNeil [1984]) ou encore pour l'estimation des modèles de choix discrets mixant des données agrégées ou désagrégées par Gonzales [1985] et Yai et alii [1990].

Idéalement, l'utilisation conjointe des données de différentes sources devrait permettre de bénéficier des avantages des deux types de données. Morikawa [1994] indique comme avantages principaux :

"efficacité : estimation jointe des paramètres des préférences à partir de l'ensemble des données disponibles,

correction des biais : les modèles (...) de SP peuvent inclure à la fois les paramètres des préférences et des biais,

identification : estimation des arbitrages parmi les attributs et des effets de services inexistants qui ne sont pas identifiables à partir des données de RP^{lxviii}."

Un des points importants pour le praticien est de savoir comment la combinaison des données de SP et de RP doit permettre de bénéficier des avantages de chacune des méthodes plutôt que de se retrouver avec les inconvénients de chacune d'entre elles.

On présente tout d'abord les différentes modalités de combinaison des données de RP et de SP, puis la manière dont on peut calibrer une fonction d'utilité par une estimation en information complète, puis les applications recensées de cette méthode au transport de marchandises.

Plusieurs types de combinaisons

Les RP et les SP peuvent être combinées de plusieurs manières. Tout d'abord en utilisant les données de SP de manière exploratoire, d'autre part en affectant chaque ensemble de données à certains coefficients de la fonction d'utilité, enfin en utilisant conjointement les deux ensemble de données.

Les données de RP et de SP peuvent être utilisées, tout d'abord, de manière **exploratoire**, en se basant sur la capacité des données de SP à faire "ressortir", grâce à l'utilisation d'un plan d'expérience maîtrisé, la forme fonctionnelle à retenir pour les fonctions d'utilité. Notamment, l'utilisation préliminaire de données de SP pourrait permettre de mettre au jour une forme fonctionnelle, peu susceptible d'être mise en évidence par des données de RP. Lerman et Louvière [1978] proposent ainsi d'utiliser des données de simulation en laboratoire (laboratory simulation data) pour spécifier la *forme fonctionnelle* à estimer, puis d'utiliser des données économétriques (synonyme alors de RP) pour estimer les *coefficients*. L'avantage de la première étape est que, dans les données de SP, on maîtrise le niveau des variables explicatives, il est donc plus aisé de tester des formes fonctionnelles alternatives. Tandis que dans une seconde étape on évalue les coefficients à partir de données "réelles". Cette démarche s'appuie sur le constat de stabilité des formes fonctionnelles "*L'expérience relativement consolidée concernant une de ces techniques psychologiques : le calibrage fonctionnel, suggère que, pour chaque type particulier de décision, la forme fonctionnelle qui rend compte des préférences des personnes tend à être relativement stable au sein de la population bien que les paramètres de la fonction puissent varier largement*"^{lxxix}. Cette démarche nécessite cependant une hypothèse supplémentaire de congruence entre les formes fonctionnelles des données de laboratoire et celles du processus réel de décision. Appliqués à un cas d'espèce, les résultats de cette approche semblent concluants. En comparant la qualité du modèle ajusté en deux étapes, à ceux que trouverait normalement un analyste travaillant directement en une étape (les formulations retenues sont relativement traditionnelles, avec des variables incluses dans leur forme brute ou transformée par les fonctions logarithme, exponentiel, inverse ou carré), il trouve que la démarche en deux étapes aboutit à des résultats statistiquement plus satisfaisants.

Le modèle obtenu en deux étapes est du type :

$$U = \alpha \exp(\beta.X_1) + \gamma.X_2.\exp(\delta.X_1) + \varepsilon, \text{ avec (notations de l'auteur) :} \quad (4.2)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta,$ coefficients de la fonction d'utilité,
 $X_1, X_2,$ variables explicatives.

Toutefois, cette approche ne tire partie des données de SP que dans une phase préliminaire à l'estimation. Une autre méthode que l'on pourrait qualifier d'**estimation "au cas par cas"** franchit un pas supplémentaire dans l'utilisation conjointe de plusieurs sources de données. Des données de SP sont utilisées pour établir le ratio entre les coefficients de certains attributs susceptibles d'être trop fortement corrélés dans les données de RP. Ben-Akiva et Morikawa [1994], ou bien Morikawa 94 notent la possibilité que les données de RP soient utilisées comme base de l'estimation et que les données de SP soient utilisées pour estimer correctement les coefficients associés à certains attributs trop fortement corrélés dans les données de RP. On entre ici dans un degré plus important d'utilisation conjointe des

variables, puisque Certains coefficients obtenus sur les SP sont utilisés, ou du moins leurs ratios, lors de l'estimation effectuée sur les données de RP.

Swait, Louvière et Williams [1994] proposent ainsi la démarche suivante :

1. Estimation du modèle SP (y. c. une variable spécifique à l'alternative)
2. Estimation de la variable spécifique à l'alternative sur les données de RP en supposant que les coefficients des attributs sont fixés à leur valeur de SP. Et en estimant un facteur d'échelle pour que la matrice des données RP soit rééchelonnée aux valeurs de la matrice SP.

Les auteurs notent toutefois que le modèle ainsi obtenu fournit un ajustement inférieur à celui non contraint (appliqué aux seules données de RP, sans contrainte sur la valeur des coefficients).

Enfin, Viera [1992] note également que lorsque l'on cherche à évaluer le niveau absolu de la demande l'utilisation conjointe des Préférences Révélées et Déclarées peut être prescrite. Le plus souvent les méthodes de S.P. sont utilisées pour estimer les ratios d'arbitrage entre attributs, puis des données agrégées de Préférences Révélées sont utilisées pour calibrer la fonction d'utilité et obtenir un modèle cohérent avec les parts modales mesurées.

On voit ainsi se dessiner la possibilité d'utiliser "successivement" ou "au cas par cas" des résultats de SP et de RP. Outre l'utilisation exploratoire des SP, cette approche s'est matérialisée pour les praticiens par l'habitude de recalculer sur les données de RP la constante spécifique de chaque mode obtenue sur des données de SP intermodales. Cette démarche fournit un modèle dont l'essentiel des coefficients résultent des SP mais permet, en outre, de reproduire les parts modales telles qu'elles apparaissent dans les RP.

Un degré d'intégration plus important entre données de SP et de RP peut être réalisé par **l'utilisation conjointe de ces deux types de données**.

La difficulté à circonvier provient alors de la nature hétérogène de ces deux types de données et de ses implications sur les termes stochastiques des fonctions d'utilité.

Bradley et Daly [1991] notent ainsi que la variance des composantes stochastiques correspondant à chacun des ensembles de données est probablement différente. De nombreuses causes peuvent ici être évoquées. Bradley et Daly citent l'existence d'une dépendance entre observations répétées de SP sur un même individu tend à réduire la variance associée à ces données (que l'on notera v) comparée à celle des données de RP (notée ϵ). On peut aussi prendre en compte d'autres effets tels que l'omission de variables pertinentes dans le contexte de SP ou encore l'existence d'erreurs de mesure dans les RP. Au final, il semble impossible de déterminer *a priori* de manière certaine le rapport entre les ϵ et le v , la seule chose assurée étant alors que la variance des ces deux termes de perturbations ne peut pas a priori être supposée égale¹³³.

Différentes méthodes d'estimations peuvent alors être utilisées : hiérarchique, information complète (Full Information) ou encore séquentielle (cette dernière ne sera pas présentée car elle ne semble pas avoir d'avantage notable¹³⁴ par rapport aux autres mais impose des manipulations de données plus importantes) pour prendre en compte la différence de variance des termes de perturbation entre les données.

Plaçons-nous dans le cadre d'analyse fourni par Bradley et Daly [1991]. On définit deux fonctions d'utilité, l'une sur les données de Préférence Déclarées l'autre sur les données de Préférences Révélées. On partitionne les arguments des fonctions d'utilité en deux ensembles : certains arguments sont tout d'abord communs aux deux fonctions, on suppose qu'ils ont les mêmes effets sur l'utilité

¹³³ Si l'on estimait un modèle de choix modal sans prendre en compte cette hétérogénéité des termes de perturbations on pourrait obtenir des coefficients biaisés.

¹³⁴ Au contraire même, puisque dans l'estimation séquentielle, souligne Hensher [1986] cité par Morikawa [1989] les écarts types calculés sont sous-estimés conduisant à des T de Student surestimés.

indépendamment de la méthode par laquelle ils ont été collectés. Les autres arguments sont différenciés selon l'échantillon. On considère que ces dernières ne sont pas des variables similaires lorsqu'on les collecte par des RP ou par des SP. Typiquement ces dernières variables capturent des effets propres à chacune des méthodes : soit des variables qui n'ont été enquêtées que dans un des échantillons, soit des variables reproduisant un effet ou un biais propre à chaque type de données. Parmi les variables correspondant à un seul type de données on doit inclure les éventuels biais spécifiques au contexte de l'enquête. Il en est ainsi par exemple de l'effet d'inertie identifié dans la littérature comme une des caractéristiques des enquêtes de SP.

On pourra donc écrire deux fonctions d'utilité, chacune se référant à un ensemble de données :

$$U^{RP} = \beta x^{RP} + \alpha w + \varepsilon, \quad (4.3)$$

$$U^{SP} = \beta \cdot x^{SP} + \gamma \cdot z + v, \quad \text{avec} \quad (4.4)$$

U^{RP}	fonction d'utilité représentant les Préférences Déclarées,
x^{RP}	valeurs des attributs x (qui influencent à la fois les RP et les SP) dans les données RP,
w	valeur des attributs w qui n'influencent que les Préférences Déclarées,
β	coefficients de la fonction d'utilité pour les attributs (qui influencent à la fois les RP et les SP),
α	coefficients de la fonction d'utilité pour les attributs propres aux données de RP,
ε	partie stochastique de la fonction d'utilité des RP,
x^{SP}	valeurs des attributs x (qui influencent à la fois les RP et les SP) dans les données SP,
z	attributs spécifiques aux données de SP,
g	coefficients des attributs spécifiques aux données de SP,
v	partie stochastique de la fonction d'utilité des données de SP.

On suppose ainsi que les mêmes coefficients s'appliquent à un ensemble de variables x issues des SP et des RP. Par contre d'autres variables peuvent rester spécifiques à chaque collecte de données (par exemple l'effet d'inertie dans les données de SP). Une difficulté est alors que même lorsque l'hypothèse de distribution IID des termes de perturbations est vérifiée pour chaque ensemble de données pris séparément, elle peut ne pas être vérifiée pour l'ensemble regroupant les deux sources de données. Si l'on souhaite prendre en compte cette éventualité on peut alors "réétalonner" (rescale) les données de SP en multipliant la fonction d'utilité des SP par une constante μ définie par :

$$\mu^2 = \frac{\text{Var}(\varepsilon)}{\text{Var}(v)} \quad (4.5)$$

Si l'on multiplie la fonction d'utilité des données de SP par μ ainsi définie, on obtient :

$$U^{SP} = \mu \cdot \beta \cdot x^{SP} + \mu \cdot \gamma \cdot z + \mu \cdot v. \quad (4.6)$$

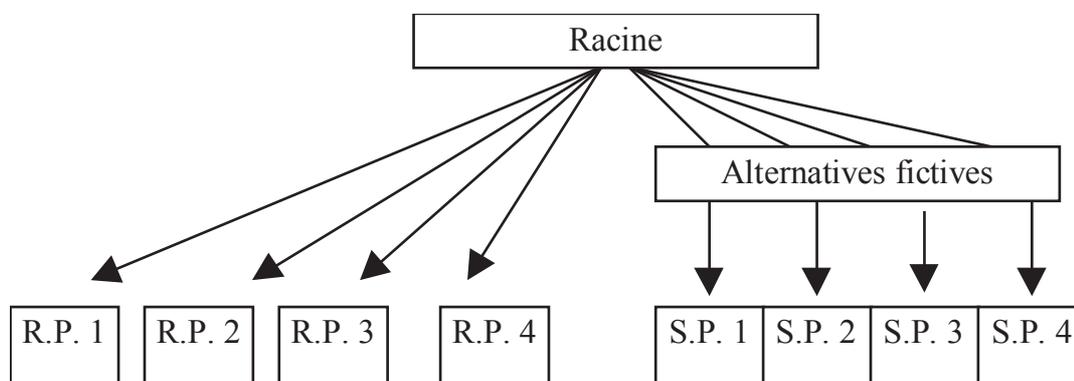
Cette formulation de la fonction d'utilité respecte la condition d'IID *entre* les observations appartenant aux deux groupes de données. Le paramètre μ devient un des éléments de calage du modèle conjoint RP et SP. Ce paramètre pouvant être estimé par une méthode du maximum de vraisemblance.

Estimation

L'existence d'une hétérogénéité parmi les termes de perturbation, suggère le recours à un artifice : l'utilisation d'une "scaling approach" (ré-étalonnage) par l'application d'une structure hiérarchique. La

Figure 17 fournit un exemple de structure hiérarchique que l'on peut mettre en œuvre pour réaliser un tel "étalonnage" :

Figure 17 : structure d'un modèle de choix hiérarchique pour la combinaison de données de RP et de SP



Source : Bradley et Daly [1994, p. 123]

L'utilité de chacun des nœuds représentant une alternative SP s'exprime alors comme $\mu \log \Sigma \exp(U_n)$, ce qui dans cette situation où chaque nœud ne comprend qu'une alternative, se simplifie comme μU_n .

Le processus d'estimation peut être raffiné pour prendre en compte des hypothèses moins restrictives sur les termes stochastiques. Par exemple, Viera [1992] souligne que l'approche présentée dans les paragraphes précédents est valable seulement sous l'hypothèse où les termes stochastiques des deux ensembles de données sont indépendants. Or, cette hypothèse pourrait ne pas être vérifiée lorsque les données de SP et de RP sont collectées sur les mêmes individus. Par exemple, le terme stochastique peut inclure une préférence systématique d'un individu pour un mode. Cette composante serait alors présente à la fois dans les observations des données de SP et de RP collectées sur un même individu. Les conséquences de cette violation des hypothèses d'indépendance et les solutions qu'on peut y apporter sont analysées par Morikawa [1994]. En cas de corrélation sérielle les coefficients estimés par le maximum de vraisemblance ne sont plus les plus efficaces, ils restent cependant sans biais et asymptotiquement normaux, sauf si le terme stochastique est corrélé avec une ou des variables explicatives. De telles corrélations pourraient se présenter dans un certain nombre de cas :

- inclusion comme dummy du mode choisi dans le modèle SP. Cette inclusion est destinée à prendre en compte l'effet de l'inertie dans les réponses aux questionnaires de SP : "*dans les études précédentes, les variables binaires de ce type ont toujours des coefficients estimés significatifs^{lxxx}.*" (Morikawa [1994]), et pourtant cette variable crée une corrélation entre le terme stochastique et une des variables explicatives.
- les attributs du modèle de Préférences Déclarées dépendent du choix actuel. La valeur des attributs proposés dans les SP est souvent fixée en fonction des valeurs indiquées par le répondant pour le choix actuel. Morikawa [1994] présente un processus d'estimation qui neutralise cette difficulté.

Comparaison du bruit dans les données de RP et de SP

Une autre application de l'utilisation conjointe de données de Préférences Révélées et de Préférences Déclarées est de comparer le bruit présent dans chaque ensemble de données.

On utilise (4.5) $\mu^2 = \frac{\text{Var}(\varepsilon)}{\text{Var}(v)}$,

Les résultats empiriques de ce type de comparaison ne sont toutefois pas concordants. Le Tableau 28 ci-après montre comment au sein d'une même étude (Ben-Akiva et Morikawa [1990a et 1990b]), la hiérarchie des variances des termes stochastiques n'est pas immuable.

Tableau 28 : exemple de facteur d'échelle estimé entre les données de SP et de RP

Type d'exercice	facteur d'échelle	conclusion
SP1 rail - route	$\mu = 0,29$	$\text{Var}(\text{SP1}) > \text{Var}(\text{RP})$
SP2 intramodal rail	$\mu = 3,33$	$\text{Var}(\text{SP2}) < \text{Var}(\text{RP})$

source : Ben-Akiva et Morikawa [1990]

Dans une autre application, Morikawa [1994] obtient un paramètre d'échelle significativement inférieur à un ce qui suggère que le modèle SP contient un bruit stochastique plus important que le modèle de RP. Dans une analyse comparable Bradley et Daly [1991] analysent deux jeux de données : pour le premier, ils observent une variabilité inférieure (du terme stochastique) des SP, avant de préciser que le second jeu de données aboutit au résultat inverse. Vieira [1992] aboutit, avec un nombre de données de SP 20 fois plus important que les données de RP, à un μ estimée égal à 0,3 ou 0,4 suggérant que les données de SP contiennent plus de bruit. Fowkes [1992] suggère quant à lui que les termes stochastiques des SP ont probablement une variance supérieure à celles des RP, mais il ajoute "*mais dans une faible mesure*"^{lxxxi}.

Il semble sur ce point difficile de tirer une conclusion si l'on considère la forte variabilité des résultats en fonction des données disponibles.

Application à la valeur du temps en transport de marchandises et résultats

Il existe quelques applications au transport de marchandises d'estimation combinée sur la base de données de SP et de RP. Nous avons déjà cité Viera [1992]. S'y ajoutent : Fosgerau, [1996] au Danemark pour l'étude du trafic sur le Storebælt ; FTC [1998] au Danemark encore pour l'étude du Fehmarn Belt et l'analyse d'Hague Consulting Group menée sur les données collectées auprès de chargeurs dans le Nord-Pas de Calais (de Jong, Velay et alii [2001]). Le Tableau 29 nous montre, pour cette dernière étude, comment la valeur du temps estimée varie selon l'utilisation soit des données de SP isolées soit des données de RP isolées, soit enfin de leur combinaison. Chacune des colonnes correspond à une hypothèse de formulation de la fonction de coût. Dans un premier cas, on considère une fonction de coût générique au sens où elle est identique quel que soit le mode. Dans un second cas, on considère une fonction de coût spécifique, c'est-à-dire différente selon les modes.

Tableau 29 : utilisation séparée et conjointe des données de SP et de RP (intramodal routier)

	Fonction de coût générique	Fonction de coût spécifique au mode
SP	54 FF99/h envoi	72 FF99/h envoi
RP	<0	s.o.
RP+SP	29 FF99/h envoi	35 FF99/h envoi

Source : de Jong et alii [2001]

Ce tableau amène les observations suivantes :

- Les coefficients sont fortement différents selon que l'on combine les deux types d'observations ou qu'on les scinde. Cela implique que la question de l'utilisation conjointe de ces données n'est pas secondaire.
- Les coefficients obtenus par un modèle combinant des données de RP et de SP sont de signe cohérent, alors que ce n'est pas toujours le cas pour les modèles utilisant une seule source de données.
- Ils ont une valeur située entre celle des SP et celle des RP.

Conclusions

On voit ainsi comment l'opposition entre RP et SP peut être dépassée par l'utilisation conjointe des deux types de données. Un élément important est que l'utilisation conjointe des différentes données amène à des différences non négligeables dans les résultats numériques obtenus. Ces différences ne sont pas dues uniquement au facteur d'échelle μ , puisqu'elles subsistent également lorsque l'on compare les ratios entre coefficients. On vérifie également que les valeurs du temps obtenues sur la combinaison des données aboutit à des estimations comprises entre celles obtenues sur les données séparées. La différence la plus importante est, ainsi que le constatent Ben-Akiva et Morikawa [1990a et 1990b] : *"Les constantes spécifiques aux alternatives sont susceptibles d'avoir des valeurs significativement différentes dans les deux modèles^{lxxxii}"*.

Il en résulte une recommandation : *"(...) il est recommandé que les constantes soient estimées séparément pour les modèles de RP et de SP et que celles du modèle RP soient utilisées pour la prévision^{lxxxiii}"*. Cette prescription n'est pas restée sans conséquence pour les praticiens puisque l'on tend en bureau d'étude à effectuer ce recalage.

La seconde recommandation sur ce point est de n'utiliser les choix déclarés que dans la mesure où ils permettent de pallier certaines déficiences des RP. Louvière et alii [2000] : *"Les données de RP sont vues comme l'étalon auquel comparer les données de SP et les données de SP sont vues comme utiles seulement dans la mesure où elles améliorent certaines caractéristiques indésirables des données de RP^{lxxxiv}"*.

Du fait de ces avantages, cette approche a donné lieu à quelques travaux qui ont été réalisés principalement au cours des années 1990. Depuis lors toutefois, le renouveau lié à ces techniques n'est plus au centre de la production scientifique en économie des transports. Un autre développement a focalisé les énergies dans ce domaine : la prise en compte de l'hétérogénéité dans les préférences. Or ces développements ne sont pas sans pertinence pour notre sujet.

3 Comment mesurer la dispersion des valeurs du temps ?

Nous avons considéré, dans l'essentiel du chapitre précédent, que la fonction d'utilité stochastique des individus a des coefficients identiques quel que soit l'individu considéré.

Cette hypothèse n'implique pas que les préférences des agents sont identiques, puisque la fonction d'utilité peut comporter, à la fois, des caractéristiques socio-économiques de l'individu qui interagissent avec les attributs des alternatives proposées et un terme stochastique additif qui peut rendre compte des différences interindividuelles non expliquées. On conviendra toutefois que ce type d'hétérogénéité peut sembler insuffisant d'un point de vue théorique et que l'analyse économique est fondée à explorer des modes plus élaborés de prises en compte des différences dans les préférences entre individus. D'un point de vue empirique, Fabien Leurent, dans une étude du choix des automobilistes entre un itinéraire à péage et un itinéraire gratuit dans l'agglomération marseillaise montre, notamment, qu'en imposant l'égalité des coefficients entre individus on augmente de 200 % la variance estimée du terme stochastique (Leurent [1998]).

Pour rendre compte de l'hétérogénéité des préférences entre individus, on doit alors recourir à d'autres approches développées, pour la plupart, en transport de voyageurs mais qui ont connu également des applications au transport de marchandises. Blayac et Causse [1999] envisagent deux méthodes pour surmonter cette difficulté : *“soit une segmentation de la population, soit l'utilisation de modèles à coefficients variables”*. D'autres approches sont également disponibles. Dans certains cas, les données analysées permettent directement de calculer des valeurs du temps individuelles ; tel est le cas des questionnaires formulés en terme de “transfer price” (Kawamura [1999]). Dans d'autres approches on peut ajuster une distribution des valeurs du temps à des données d'analyse conjointe. Bolduc et al [1992] montrent ainsi qu'il est possible d'ajuster dans un modèle de choix modal, une distribution log-normale de la valeur du temps.

De manière plus synthétique, Ben-Akiva et Gopinath [1996b] identifient 5 méthodes pour prendre en compte ces variations :

- Modèles spécifiques,
- Modèles groupés (pooled models),
- Modèles à coefficients stochastiques,
- Modèles avec segmentation a priori,
- Modèles à classes latentes.

Au final, nous proposons de classifier les méthodes permettant la prise en compte de la variabilité des valeurs du temps, selon les catégories suivantes :

1. Prise en compte de l'hétérogénéité dans le terme stochastique.
2. Modèles avec interactions.
3. Modèles à segmentation a priori.
4. Modèles à classes latentes.
5. Modèles à coefficients stochastiques ou à valeur du temps distribuée.
6. Modèles à valeur du temps individuelle.

Nous proposons de passer en revue les plus importantes de ces méthodes. On ne s'attardera pas sur le premier mode de traitement : nous avons déjà cité la prise en compte de la distribution des valeurs du temps par le terme stochastique et indiqué les limitations d'une telle méthode.

3.1 Les méthodes

On s'attardera plus longuement sur les modèles à valeurs du temps individuelles, les modèles avec interactions, les modèles avec segmentation a priori, les modèles à classe latente ou "mass point", et enfin les modèles à valeurs du temps distribuées.

Les modèles à valeur du temps individuelle

On citera deux méthodes permettant d'obtenir une valeur de temps individuelle. La méthode de **"Transfer Price"** : ce mode d'éllicitation permet l'expression directe d'un consentement à payer pour les modifications des durées de transport. Wynter [1995] fournit directement l'exemple d'une distribution des consentements à payer individuels obtenus par ces méthodes. On remarquera toutefois que ces "Transfer price" sont une méthode de SP aujourd'hui relativement délaissée, et que les valorisations obtenues par Wynter constituent un "outlier" au sein de l'ensemble des valorisations des gains de temps obtenues en Europe.

Une autre approche est celle des Stated Preferences individuelles basées sur des **SP adaptatifs**. C'est notamment une des approches proposées par Danielis et Rotaris [2002] en utilisant le logiciel ACA (Adaptive Conjoint Analysis) ou par Fowkes et Shingal [2002] avec le modèle LASP (Leeds Adaptive Stated Preferences). Une des difficultés est alors la corrélation qui se crée entre le niveau des attributs et

le terme d'aléa de la fonction d'utilité stochastique, cette corrélation pouvant biaiser les paramètres estimés.

Les modèles avec interactions

On peut parler de modèles avec termes d'interactions, dès lors que les variables qui décrivent des caractéristiques socio-économiques modifient l'effet des attributs des alternatives sur les choix effectués.

En particulier les modèles avec interactions sont souvent introduits sous une forme quadratique. Soit par exemple¹³⁵ :

$$U_n(i) = \beta_i + \sum_{j=1}^J \beta_j X_j + \sum_{k=1}^K \beta_{ki} Z_k + \frac{1}{2} \beta_{jk} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_j Z_k, \text{ avec :} \quad (4.7)$$

$U_n(i)$	utilité de l'alternative i pour l'individu n ,
X_j	attribut j de l'alternative,
Z_k	caractéristique k de l'individu / l'entreprise n ,
β_i	constante spécifique à l'alternative i ,
β_j	coefficient de l'attribut j ,
β_{ki}	coefficient de la caractéristique k pour l'alternative i ,
β_{jk}	coefficient de l'effet croisé entre la caractéristique k et l'attribut j .

En outre, une condition nécessaire pour que le coefficient β_{ki} soit estimable est que $\forall k, \exists i / \beta_{ki} \neq 0$

L'utilisation d'une forme quadratique permet de prendre en compte l'effet des caractéristiques individuelles par leurs effets croisés avec les attributs. On peut y voir un moyen pertinent d'introduire des variables explicatives modulant selon les individus l'effet des durées de transport. Cela permet d'obtenir une valeur du temps fonction des caractéristiques individuelles. Cette possibilité a été utilisée en transport de voyageurs. Par exemple, Cherchi et Ortúzar [2003] notent que : *"les valeurs du temps sont fortement influencées par certaines caractéristiques socio-économiques des individus^{lxxxv}"*. Dans le domaine des voyageurs toujours, Train et McFadden [1978] et Jara-Díaz et Farah [1987] ont montré que même sous l'hypothèse – restrictive - où la fonction d'utilité (directe) représentant les préférences est identique pour tous les individus, la fonction d'utilité indirecte doit prendre en compte un terme d'interaction entre le revenu et les attributs. Causse et Blayac [1999] proposent une formulation de l'utilité indirecte conforme à cette approche micro fondée. Les auteurs concluent que l'utilisation d'une forme non linéaire accroît le pouvoir explicatif du modèle, le R^2 étant modifié de 0,049 à 0,237.

L'utilisation des termes d'interaction a connu un développement non négligeable dans les méthodes d'analyse du transport de voyageurs. Il figure en bonne place dans la boîte à outils des concepteurs de modèles voyageurs. Les résultats sont moins nombreux en transport de marchandises. Ils existent cependant. Dans certaines applications, on croise les effets de l'attribut "durée de transport" avec une variable descriptive de l'envoi ou de l'entreprise. Jiang [1998] utilise une méthode un peu plus élaborée en considérant que les termes d'interactions sont de la forme $f(Z).x$, où Z est une caractéristique de l'envoi ou de l'entreprise, f est une transformation éventuellement non linéaire, x est l'attribut pour lequel on veut prendre en compte un effet croisé. Une telle formulation permet de bénéficier de formes fonctionnelles plus souples et de prendre en compte des effets non linéaires des caractéristiques de l'entreprise sur la valeur du temps. Nous reviendrons sur les résultats obtenus par Fei Jiang et par d'autres en utilisant ces méthodes. Ces résultats restent cependant peu nombreux.

Cela peut s'expliquer par l'attrait particulier d'une autre méthode qui semble avoir une application plus "évidente" en transport de marchandises et que nous présentons maintenant plus en détail.

¹³⁵ On néglige dans cette notation, les effets croisés entre attributs de l'offre de transport.

Modèles à segmentation a priori

Il existe une forte présomption que la valeur du temps varie selon les caractéristiques des envois ou des entreprises concernés. Notamment, la segmentation à partir du secteur auquel appartient le chargeur est souvent mise en avant. Elle a donné lieu à des applications relativement nombreuses, par exemple : Fowkes [2001], Jiang [1998]. Mais sur ce point la production scientifique récente aboutit à des conclusions diamétralement opposées :

Bollis et Maggi [2002] : *"Nos résultats ont confirmé l'opinion selon laquelle les classifications selon les biens ne sont plus un moyen important d'expliquer les décisions de transport. Tandis que nous n'avons pas trouvé de résultats montrant des différences entre les secteurs, nous avons trouvé de fortes valeurs pour les biens de qualité élevée (...)"^{lxxxvi}.*

Maier et Bergman [2002] : *"La valorisation des différentes dimensions des services de transport par les décideurs logistiques des sociétés autrichiennes diffèrent de manière significative par leur appartenance géographique ou sectorielle"^{lxxxvii}.*

Au-delà de son apparente évidence, une segmentation basée sur les secteurs pourrait être décevante.

En premier lieu, les résultats en la matière sont le plus souvent obtenus à partir d'enquêtes réalisées sur un nombre limité de secteurs prédéfinis : par exemple, pour Fowkes [a] : engrais, ciment, appareils électroménagers, chocolat, brasserie, lubrifiants et carburants, tubes d'acier, papier et pulpe à papier) ; pour Jiang [1998] : produits chimiques, métallurgie, machines, biens manufacturés ; ou encore, pour Danielis et Rotaris [2002] : chimie, machines et équipements mécaniques, produits sidérurgiques, meubles, équipement électrique, nourritures et boissons, construction, informatique et électronique, papier et produits du papier). Cela tend, d'une part, à rendre les résultats obtenus pour un échantillon difficilement applicables à une autre population qui pourrait compter des secteurs non renseignés. Cela tend de plus à limiter la portée générale des conclusions obtenues car, pour l'évaluation de projets, il faut pouvoir prendre en compte l'ensemble des secteurs qui sont utilisateurs de l'infrastructure de transport étudiée. En outre, pour la prévision de trafic comme pour l'évaluation de projet, il est fréquent que l'on ne connaisse pas la nature des biens transportés. Dans ce cas, les segmentations par type de biens se révèlent inopérantes.

En second lieu, du point de vue de l'induction statistique, la segmentation a priori aboutit à une réduction du nombre d'observations disponibles pour l'estimation du vecteur de paramètres de chaque catégorie. L'obtention de résultats segmentés se paie alors par une augmentation de la variance des coefficients estimés. De ce fait, bien qu'elle soit moins courante, la méthode basée sur les termes d'interactions pourrait être plus satisfaisante en maintenant à la fois la possibilité de différencier les paramètres de la fonction d'utilité selon les secteurs et la possibilité de réaliser l'estimation en information complète.

Enfin, les méthodes de segmentation basées sur les secteurs sont construites sur des critères de segmentation a priori. D'autres méthodes supposent au contraire que les critères de segmentation doivent être endogènes au processus d'estimation des paramètres du modèle. Voyons de quelle manière cette possibilité a été mise à profit dans les modèles à classes latentes.

Modèles à classes latentes et modèles "mass point"

Une possibilité est alors de recourir à une segmentation qui repose sur une combinaison des caractéristiques des individus. On parlera alors de modèles à classes latentes ou de Mass Point Logit ou, moins fréquemment, de Finite Mixture models (la nomenclature n'est pas unifiée sur ce point).

Le point commun à l'ensemble de ces approches est de supposer que les mécanismes de choix sont définis par des paramètres différents selon les diverses classes. L'appartenance à l'une des classes n'est

pas observée a priori mais établie selon un modèle sous-jacent (classes "latentes") d'appartenance à une classe. On estime alors à la fois le modèle d'appartenance à un segment et les paramètres du modèle de choix discret propre à chaque classe. Dans certaines applications le modèle d'appartenance se réduit à une probabilité d'appartenance (on parlera alors de "discrete mass points", bien que certains (par exemple, Scaccia [2005]) utilisent également le terme "classes latentes" dans ce cas). Dans des approches plus élaborées, le modèle d'appartenance fait appel à des caractéristiques de l'individu. Il peut aussi dans certaines applications se baser sur des "attitudinal variables" ou encore des données psychométriques.

La probabilité d'appartenance de chaque individu à chaque classe s'exprime comme :

$$P_n(s') = \frac{\exp(\alpha_{s'} + \gamma_{s'} Z_n)}{\sum_{s'=1}^S \exp(\alpha_{s'} + \gamma_{s'} Z_n)}, \text{ avec :} \quad (4.8)$$

s' , indice de la classe,
 $\alpha_{s'}, \gamma_{s'}$, coefficients du modèle d'appartenance à la classe s ,
 Z_n , variables explicatives du modèle d'appartenance aux classes.

Si l'on note $P_n(j|s)$ la probabilité pour qu'un individu de la classe s choisisse l'alternative j , on peut écrire la probabilité de choisir l'alternative j pour l'ensemble des classes latentes comme :

$$P_n(j) = \sum_{s'=1}^S P_n(s') \cdot P_n(j|s') \quad (4.9)$$

Les coefficients maximisant la log-vraisemblance peuvent alors être estimés par la méthode de maximisation de l'espérance (méthode EM, McLachlan et Krishnan [1997]). Une difficulté particulière est de déterminer le nombre adéquat de classes. On ne peut recourir sur ce point au test du ratio des Log-vraisemblance. Pour la résoudre, on se réfère alors soit au critère bayésien d'information (B.I.C.) soit au critère d'information d'Akaike (A.I.C.). Ceux-ci sont définis par :

$$\text{BIC} = -2 \text{LL}(\beta) + p \cdot \log(N), \quad (4.10)$$

$$\text{AIC} = -2 (\text{LL}(\beta) - p), \text{ avec :} \quad (4.11)$$

$\text{LL}(\beta)$ Log Vraisemblance des coefficients β estimés,
 p nombre de paramètres (coefficients),
 N nombre d'observations.

Une forme simplifiée des modèles à classes latentes est représentée par les approches de type "**mass point**" ou "**discret mass point**" (Dong et Koppelman [2003]), que l'on pourrait traduire comme "logit à vecteurs discrets". Les coefficients sont alors censés varier entre individus ou observations selon des distributions discrètes. Concrètement le vecteur de paramètres peut prendre un ensemble fini (en général un petit nombre) de valeurs.

La probabilité de choix de l'alternative i est alors :

$$P(i) = \sum_{m=1}^M \frac{\exp X_i \beta_m}{\sum_{j \in C_i} \exp(X_j \beta_m)} \lambda_m, \text{ avec :} \quad (4.12)$$

$P(i)$	probabilité de choisir l'alternative i
m ,	indice du point,
M	nombre total de points,
λ_m	poids ou probabilité, associé à chaque vecteur de coefficients,
X_i	attributs pour l'alternative i ,
β_m	valeur des coefficients pour le point m ,
C	ensemble des choix.

Bien qu'elle soit dépourvue d'un modèle d'appartenance aux classes, l'approche par une distribution discrète des vecteurs de coefficients, peut être justifiée. Dong et Koppelman [2003] soulignent que (i) l'approche par les classes latentes peut ne pas réussir à isoler certains groupes dotés d'une faible probabilité, (ii) l'approche par les mass points peut permettre de considérer un nombre supérieur de classes.

Sous une forme ou sous l'autre, les méthodes de classes latentes recèlent un pouvoir explicatif non négligeable. Ben-Akiva [1996] affirme sur ce point que : *“le pouvoir explicatif des modèles à classes latentes pour l'hétérogénéité des préférences est beaucoup plus important que celui des approches existantes : introduire des variables d'interaction entre les caractéristiques des individus et les attributs des alternatives dans les spécifications de l'utilité et les modèles avec une distribution log-normale des valeurs du temps”*.^{lxxxviii}

Ces modèles ont connu un nombre très limité d'applications en transport de marchandises. Massiani et alii [2004] ont présenté des résultats sur la base d'un échantillon réduit. Sur ce point le retour d'expérience est encore limité, et l'application de ces modèles au transport de marchandises a sa place dans les programmes de recherche en économie des transports.

Modèle à coefficients stochastiques ou à valeurs du temps distribués

Les modèles à coefficients stochastiques procèdent de la même intuition que les modèles "discrete mass point", mais ils relâchent l'hypothèse sur le caractère discret de la distribution des coefficients. Les modèles à coefficients stochastiques rendent compte de la distribution des coefficients sur l'ensemble des observations. Cette formulation permet par exemple de prendre en compte l'effet de variables non observées sur la valorisation individuelle des alternatives.

Ben-Akiva et Lerman [1975] soulignent que ce type de spécification a été utilisé dès les années 70. Bruzelius [1979 pp 161 et suivantes] a étudié l'erreur que commettrait un analyste en omettant de prendre en compte l'hétérogénéité. Une approche à coefficients distribués a été appliquée aux chargeurs par Winston [1981] dans le cadre d'un modèle *probit*. Une forme analytique des modèles *probit* distribués est ainsi disponible pour les analystes depuis plus de deux décennies, mais cette possibilité reste cantonnée à des choix le plus souvent binaires étant données les complexités mathématiques liées à l'utilisation d'un modèle *probit* pour plus de deux alternatives. Les modèles *logit* distribués ont connu un développement plus récent reposant sur l'utilisation de techniques de simulation.

Dans sa formulation la plus générale le modèle logit à coefficients stochastiques s'écrit (McFadden et Train [2000], Train [2003]) :

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta) f(\beta | \theta) d\beta, \text{ avec :} \quad (4.13)$$

$$L_{ni}(\beta) = \frac{\exp(\beta' X_{ni})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta' X_{nj})}, \text{ où :} \quad (4.14)$$

P_{in}	probabilité de choix de l'alternative i par l'individu n,
L_{ni}	probabilité de choix de l'alternative i par l'individu n, conditionnelle à la valeur du coefficient β_n ,
θ	paramètres de distribution du coefficient β (par exemple la moyenne et l'écart-type),
$f(\beta \theta)$	densité de probabilité du coefficient β connaissant θ .

Cette formulation permet de prendre en compte la combinaison de deux aléas : puisqu'on ajoute, à la composante stochastique répartie selon une loi de type Gumbell, un aléa supplémentaire sur les coefficients. Pour rendre le modèle opératoire, il faut spécifier le type de loi de densité suivi par les coefficients. Si l'on suppose par exemple une distribution normale cela produira le modèle "**mixed Logit**" présenté par Train¹³⁶ [1999] abrégé MXL. Une difficulté est que l'intégrale contenue dans l'équation (4.13) n'a pas de forme simplifiée. Son estimation passe alors par des procédures de simulation.¹³⁷

Quelques points particuliers méritent l'attention.

En premier lieu, il faut garder **un contrôle du degré de liberté** (du nombre de coefficients stochastiques) accordé au modèle. Ceci a une importance pour l'estimation de la valeur du temps. Hensher [2001] conseille de ne rendre variables au maximum que N-1 coefficients parmi N. Il reprend ainsi le conseil établi par Ruud [1996] soulignant que les modèles mixed logit ont tendance à être instables lorsque tous les coefficients peuvent varier.

En second lieu, le **choix de la loi de distribution des coefficients** nécessite un examen attentif. Que l'on fixe le paramètre de coût ou celui de durée, le choix d'une loi de distribution est problématique. La loi normale est souvent exclue a priori car elle impliquerait que le coefficient puisse prendre des valeurs de signes différents. Cherchi et Ortúzar [2003] observent ainsi, pour le transport de voyageurs, que le modèle MXL aboutit à une valeur du temps de signe négatif pour une partie significative de l'échantillon. On pourrait certes argumenter que sur l'ensemble des observations il peut en exister dont les paramètres ont des signes différents, mais on s'attendrait à ce que cela ne concerne qu'une fraction limitée de la population. Une loi log-normale pose d'autres difficultés : lorsque le paramètre de coût (resp. du temps) s'approche de 0, la valeur du temps devient excessivement forte (resp. faible), ce qui rend les résultats peu plausibles. Hensher [2001] conclut sur ce point qu'il s'agit d'un domaine encore ouvert à la recherche. Or, le choix de la loi de répartition est critique : les résultats sont fortement dépendants de l'hypothèse formulée concernant la distribution a priori des paramètres. Cette conclusion proposée par Heckman et Singer [1984] est reprise plus récemment par Dong et Koppelman [2003] : "*Une importante limitation de cette approche est que son estimation repose sur une hypothèse a priori concernant la forme de la*

¹³⁶ Il semble toutefois que l'usage donne au terme mixed logit un sens plus général, sans se restreindre à une distribution normale des coefficients.

¹³⁷ Pour une méthode d'estimation efficace, Hensher [2001c] renvoie à Morokoff et Caflisch [1995] ou encore à Bath [2000] et Train [1999] qui conseillent tous les deux l'utilisation de séquences de Halton basées sur un pseudo Monte-Carlo plutôt qu'une méthode stochastique pure. Ils montrent ainsi que l'erreur sur l'estimation de la vraie distribution des coefficients était deux fois moindre avec 100 tirages selon la méthode de Halton qu'avec 1.000 tirages selon une méthode purement stochastique. Bastin, Cirillo et Toint [2003] proposent une méthode alternative.

distribution, ce qui pourrait amener à une solution inférieure dans les situations où la distribution sous-jacente a une forme substantiellement différente de la distribution supposée^{lxxxix}".

Alors que dans le domaine des transports de marchandises, il existe un fondement au choix de la spécification de la loi de répartition a priori des coefficients (la distribution empirique log-normale des revenus est un fondement pour supposer que l'inverse du coefficient du coût dans la fonction d'utilité indirecte suit une loi log-normale), dans le cas des transports de marchandises la spécification a priori de la distribution des coefficients peut difficilement être basée sur des données empiriques.

En troisième lieu, il faut prendre en compte une difficulté liée à la caractérisation de la distribution de la valeur du temps en fonction de celles des coefficients de durée et de coût. Ainsi, si le paramètre de coût est autorisé à varier, les VTTS, ratios de deux distributions, suivent une distribution de Cauchy, qui n'a pas de moment fini. On pourra sur ce point voir Fowkes et Wardman [1988]. Par contre, en fixant le paramètre de coût, les VTTS sont distribuées de la même manière que le paramètre de durée de transport.

Une modélisation avec coefficients stochastiques a été **appliquée** à plusieurs reprises **aux transports de voyageurs**. Par exemple Hensher [2001c] teste un Random Parameter Logit (RPL) avec des lois de répartitions normales ou log-normales ainsi que des distributions triangulaires ou rectangulaires pour un sous-ensemble des coefficients de la fonction d'utilité. L'application de cette approche à des données sur le transport interurbain en Nouvelle-Zélande confirme, pour plusieurs spécifications de modèle, que tous les paramètres de distribution, sauf un, sont statistiquement significatifs. Un résultat intéressant est fourni par Cherchi et Ortúzar [2003] qui utilisent conjointement un mixed logit et des termes d'interaction socio-économiques. Ils concluent notamment que la composante stochastique du coefficient de l'attribut durée de transport a une valeur significativement différente de 0. Ce qui signifie que, même lorsque l'on introduit des termes d'interaction, il reste une variabilité dans l'effet de cet attribut qui justifie de prendre en compte une composante stochastique. Ben-Akiva, Bolduc et Bradley [1993] parviennent à la même conclusion en ce qui concerne les méthodes à valeurs du temps distribuées : *"Les valeurs du temps distribuées ne devraient pas être utilisées comme un substitut pour expliquer autant de variation que possible mais plutôt comme un outil supplémentaire pour rendre compte de variations qui ne peuvent pas être expliquées par d'autres moyens^{xc}".*

L'utilisation de Random Parameters Logit s'appuie ainsi à la fois sur une supériorité théorique difficilement contestable et sur un nombre de travaux applicatifs, qui, dans le domaine des transports de voyageurs, n'est plus négligeable. Cela appelle à la production de résultats originaux dans le domaine des transports de marchandises.

Récapitulatif des méthodes employées

En conclusion sur ce point, on soulignera, en premier lieu, que les différentes approches permettant de rendre compte de l'hétérogénéité ne sont pas mutuellement exclusives. Lee et alii [2003], Dong et Koppelman [2003], proposent ainsi un modèle (appelé par les uns Latent Class MXL et par les autres Mixture Normal MXL) qui conjugue "mixed logit" avec les classes latentes d'une part, et avec les Mass Point Mixed Logit d'autre part.

En second lieu, on peut noter que beaucoup de ces approches n'ont pas été appliquées au transport de marchandises. Le Tableau 30 recense dans une première colonne les différentes méthodes disponibles pour la prise en compte de l'hétérogénéité des valeurs du temps. La colonne de droite donne quelques exemples d'application de ces méthodes au transport de marchandises. On constate que ces applications sont concentrées sur un nombre limité de techniques : les modèles à segmentation a priori, pour lesquels on aurait pu encore multiplier les exemples ; et les modèles à valeur du temps individuelle.

Tableau 30 : distribution de la valeur du temps, applications au transport de marchandises

Méthode	Application au transport de marchandises
(non) prise en compte de la variabilité par le terme d'aléa :	Est la situation par défaut.
Formes quadratiques et/ou d'effets croisés :	Présent dans de nombreuses applications. Jiang [1998].
Modèles à segmentation a priori :	Présent dans de nombreuses applications. Par exemple: de Jong [1996], Jiang [1998].
LCL (Latent Class Logit) :	Pas d'application connue aux transports de marchandises.
Modèles à coefficients stochastiques :	
<ul style="list-style-type: none"> • CMXL (continuous mixed logit) : 	Kawamura [1999] pour les <i>transporteurs</i> . Massiani, Danielis et Marcucci [2004] proposent pour les <i>chargeurs</i> une application préliminaire sur un ensemble de données réduit.
<ul style="list-style-type: none"> • Probit avec coefficients distribués. 	Winston [1981].
Modèles à valeur du temps distribuée :	Pas d'application connue au transport de marchandises.
Modèles à valeur du temps individuelle :	Est appliqué dans les méthodes de transfert price : Wynter [1995]. ou dans les méthodes SP adaptatifs : Danielis et Rotaris [2002].
Combinaisons : <ul style="list-style-type: none"> • LC MXL (Latent Class + MXL) • Mixture Normal MXL (Mass Point + MXL) • MPMXL (Mass Point Mixed Logit) 	Pas d'application connue pour le transport de marchandises.

Sur la base du Tableau 30, on constate que les ressources disponibles pour introduire l'hétérogénéité des préférences des chargeurs ou des transporteurs dans les modèles de choix discrets n'ont été qu'en partie utilisées. On n'est alors pas en mesure de consolider les résultats obtenus mais, tout au plus, de faire état des quelques éléments disponibles. Pour les *transporteurs*, on citera les résultats de Wynter [1994] qui établit un écart type de 5,9 F/mn, pour une moyenne de 8,6 F/mn (soit un coefficient de variation de 0,69). Pour les *chargeurs*, on citera les résultats de Fowkes [a], déjà signalés par ailleurs, qui fournissent, pour les traversées de la Manche, les indicateurs suivants : médiane : 33 £/heure, premier quartile 9 £/heure, troisième quartile 108 £/heure. Ces résultats suggèrent, du moins, que l'hétérogénéité des valeurs du temps pour les chargeurs n'est pas négligeable. On est alors invité à approfondir cette thématique.

3.2 De quoi dépend la valeur du temps ?

Une piste d'approfondissement est alors de chercher comment s'expliquent les différences de valeurs du temps. La question ainsi posée peut être comprise de deux manières. Soit tout d'abord en termes explicatifs : on recherche alors les mécanismes qui amènent telle entreprise à valoriser de manière importante les gains de temps qu'elle peut réaliser sur un envoi. Soit, deuxièmement, en termes descriptifs, en recherchant des corrélations entre les valeurs du temps et (i) les caractéristiques de l'entreprise : typiquement, on s'attend à ce que le consentement à payer des chargeurs soit lié au mode d'organisation logistique des entreprises ; (ii) celles de l'envoi : un envoi d'une marchandise de valeur élevée a-t-il une "valeur du temps" supérieure à celle des envois de moindre valeur ? (iii) ou du service de transport : les praticiens ont-ils raison de considérer que le consentement à payer des transporteurs pour une diminution des durées de déplacement est d'autant plus importante que l'envoi est effectué à une distance importante ?

Cette question ne se confond pas avec celle des techniques permettant de mesurer ces différences telles qu'elles ont été présentées ci-dessus. Elle y est certes liée parce que si l'on comprend mieux les causes de la valorisation du temps ou les corrélations de celles-ci avec d'autres attributs, on pourra mettre

en place des méthodes de mesures mieux adaptées (par exemple choisir les variables pertinentes à introduire comme terme d'interaction dans une formulation quadratique).

Un moyen de formuler cette question est d'assimiler la valeur du temps à une "valuation fonction" (fonction de valorisation) plutôt qu'un scalaire (Hensher [1997]). Le choix méthodologique de recourir à une telle "valuation fonction" est parfois implicite. C'est le cas notamment pour les travaux qui expriment la valeur d'un attribut comme une proportion du prix. NERA [1997 pp. 85-100] établit un tableau de synthèses des résultats de valeur du temps (gain de ½ journée), exprimé en pourcentage du prix du transport. En faisant cela on suppose implicitement que le consentement à payer des chargeurs pour un gain de temps est proportionnel au prix payé pour le transport¹³⁸.

Une étude systématique de cette fonction de valorisation a été effectuée par Fei Jiang [1998]. Les caractéristiques susceptibles d'interférer avec la valeur du temps sont à compter parmi les variables suivantes :

- Caractéristiques de l'entreprise : nature de l'entreprise enquêtée : usine, magasin ou entrepôt ; structure de l'entreprise : française, européenne ou mondiale ; localisation : accessibilité à un embranchement ferroviaire, accessibilité autoroutière ; transport par colis ; magasin destinataire ; envoi vers Paris ; établissement mondial ; accès au fer ; taille de l'entreprise ; existence d'un système d'information.
- Caractéristiques des envois : poids des envois, valeur des envois, fréquences, conditionnement en colis ou en plaquettes, distance de transport, destination à l'étranger, destination Paris, envoi départ Paris.
- Attributs du service de transport : prix de transport, temps de transport.

A partir d'une analyse préliminaire basée sur une segmentation a priori, Fei Jiang sélectionne un sous-ensemble de ces variables (nommément : la distance, la taille (poids) de l'envoi, la taille de l'établissement, la fréquence) et estime les paramètres d'une fonction d'évaluation¹³⁹. Mettre en regard de ces résultats, ceux obtenus par ailleurs, permet alors de présenter les principaux éléments sur les déterminants de la valeur du temps.

Plutôt que de réaliser un examen exhaustif et fastidieux de l'ensemble de ces résultats, on s'en tiendra à quatre "dimensions" qui revêtent un intérêt particulier.

- La valeur de la marchandise.
- La distance du transport.
- La "directionnalité" des flux (entrant ou sortant).
- Le poids de l'envoi.

Valeur de la marchandise

La relation entre valeur de la marchandise et valeur du temps des chargeurs est fondée, puisqu'elle s'appuie sur le coût d'opportunité du capital circulant immobilisé durant les opérations de transport. Certes, l'analyse économique s'est détournée de l'approche en terme de taux d'intérêt, mais cela signifie selon nous que de tels effets sont dominés par d'autres mécanismes et non qu'ils sont inexistantes.

¹³⁸ Si le prix du transport est multiplié par deux, la "valeur" d'une réduction d'une demi-journée de la durée de transport sera, elle aussi, doublée.

¹³⁹ Une difficulté est que Fei Jiang fournit les coefficients des fonctions de valorisation obtenus par un processus d'ajustement statistique, mais l'information qui nous est disponible ne nous permet pas de connaître la qualité d'ajustement du modèle ainsi obtenu ni surtout les "gains" d'explicativité qui sont obtenus au prix de cette complexité supplémentaire.

Au-delà de ce fondement théorique, on dispose de peu de résultats concluants : Bergkvist et Westin [2000] et Fridstrøm et Madslie [1995]¹⁴⁰, Bergkvist [2001] ne parviennent pas à déceler un effet de la valeur du bien (ni de sa valeur par unité de poids). Selon une étude réalisée par MVA (citée par Méteyer [2000]), les valeurs du temps pour les envois supérieurs à 1000 FF sont divisées par deux par rapport aux envois de valeur inférieure. Beuthe et Bouffissage [à paraître, p. 18] observent que la valeur du temps par tonne est fortement croissante en fonction de la valeur du bien.

Directionnalité de l'envoi (entrant, sortant)

L'effet de la directionnalité de l'envoi est un élément rarement analysé. La réflexion suggère en première analyse que la valeur du temps devrait être liée selon ces deux directions puisque le flux sortant pour l'expéditeur est un flux entrant pour le destinataire. Par exemple, si le chargeur est l'expéditeur, il devrait être prêt à payer pour un service de transport plus rapide, à concurrence du consentement à payer du destinataire pour anticiper la réception de sa marchandise. On reviendra plus précisément sur ce point dans les chapitres 5 et 6. Du moins peut-on, dès maintenant, présenter les quelques éléments disponibles sur ce point ; par exemple les résultats obtenus par Rotaris et Danielis [2003]. Ces auteurs calculent pour différents envois un "Indice de Substitution" défini comme :

$$\text{Indice de substitution} = (-\Delta U_x / \Delta U_C), \text{ avec :} \quad (4.15)$$

ΔU_x différence d'utilité causée par la modification d'un attribut,
 ΔU_C différence d'utilité causée par une diminution de 5 % du prix de l'alternative de transport.

En d'autres termes, un indice de substitution égal à deux indique que la modification du niveau de l'attribut par rapport au niveau de base est équivalent à deux fois 5% du prix.

Tableau 31 : comparaison d'indices de substitution entre la durée de transport et le coût de transport selon les secteurs et selon la directionnalité du flux

Secteur	Indice de substitution.	
	Intrants	Extrants.
Produits chimiques	5,9	2,0
Machines et équipements	3,6	2,9
Produits sidérurgiques	3,1	1,1
Ameublement	1,7	1,5
Equipement Electronique	1,5	1,0
Boisson et nourriture	1,2	4,9
Construction	1,1	3,3
Ordinateurs et électronique	0,3	4,6
Papier et produits associés	0,01	3,0

Source : Danielis et Rotaris [2003]

On remarque que l'Indice de Substitution entre perte de temps et augmentation des coûts varie selon le caractère entrant ou sortant des flux. On note toutefois que le classement entre les deux types de flux n'est pas identique d'un secteur à l'autre. Dans les secteurs où les indices de substitution sont supérieurs pour les flux sortants, les auteurs notent : *"une explication possible est que la satisfaction du consommateur prévaut sur les préoccupations liées à la logistique interne de production^{xi}"*, mais ne produisent pas d'explication pour les situations où le classement est inversé. Il est toutefois possible que l'unité dans laquelle sont exprimées ces mesures (indice de substitution entre durée de transport et

¹⁴⁰ Cités par Bergkvist [2001]

variation de 5% des coûts de transport) ne soit pas adaptée pour réaliser ce type d'analyse. Sur ce point on dispose cependant de peu d'éléments de comparaison.

Poids des envois

Il existe deux raisons de s'intéresser à la relation entre valeur du temps et poids des envois. Tout d'abord, de nombreuses études de prévisions de trafic utilisent plusieurs catégories de véhicules distinguées en fonction de leur charge utile. Dès lors, les résultats de ces études sont contingents à la variabilité de la valeur du temps des transporteurs ou des chargeurs en fonction du poids de la marchandise. En second lieu, le poids de la marchandise intervient de manière indirecte sur la valeur du temps : d'une part, le poids représente la quantité de biens transportée ; d'autre part, il existe une relation entre poids et valeur du bien par unité de poids : les pondéreux sont en général des biens de faible valeur. Si l'on veut donc correctement estimer la relation entre poids et valeur *du temps* (par envoi) il faut prendre en compte plusieurs effets : la corrélation entre poids de l'envoi et valeur *du bien*, et l'effet de la valeur du bien sur la valeur du temps. La question est alors de savoir quel effet est dominant :

Sur ce point les résultats disponibles semblent cohérents. Fei Jiang calibre la relation suivante :

$$\text{vdt}(W) = 84,53 \cdot W^{\left(\frac{1}{10}\right)}, \text{ avec :} \quad (4.16)$$

vdt(), valeur du temps (FF/heure.tonne),
W, poids de l'envoi.

Ce résultat peut être rapproché de celui que Fosgerau [1996] obtient au Danemark pour la relation entre valeur du temps et *taille du véhicule* suggérant que la valeur de l'heure.véh est inversement proportionnelle à la taille du véhicule.

Valeur du temps et distance

L'existence d'une relation entre distance de transport et consentement à payer des *transporteurs* pour une diminution des durées de déplacement, fait partie du vade-mecum des ingénieurs des transports. Il est donc utile de confronter cette relation avec des données empiriques. On pourra également examiner de quelle manière la distance influe sur la valeur du temps des *transporteurs* ou des *chargeurs*. Pour les *transporteurs*, Wynter [1994] estime une valeur du temps moyenne de 7,7 FF94 /envoi.mn pour une distance comprise entre 350 et 450 km et de 8,3 FF 94/envoi.mn pour une distance comprise entre 750 et 850 km. Pour les *chargeurs*, Fowkes [2001] constate une valeur du temps plus élevée (51 p/min. contre 31 p/min.) pour les envois supérieurs à 250 km. Méteyer [2000] sur la base de MVA [1999] établit que "*(les) valeurs (du temps) sont divisées environ par deux pour les envois à plus de 1000 km*". Tandis que Bergkvist [2001] observe une valeur du temps supérieure pour les envois "longs", mais ceux-ci sont définis par rapport à la durée et non à la distance. Jiang [1998] obtient, quant à lui, que, pour des distances supérieures à 260 km environ, la valeur du temps/heure décroît. Il ajuste l'équation (notations de l'auteur) :

$$\text{Vdt}(D) = 53,52 \cdot D \cdot \exp\left(-D^{\frac{1}{4}}\right), \text{ avec :} \quad (4.17)$$

Vdt(), valeur du temps par envoi (FF/heure.envoi),
D, distance de l'envoi (kilomètres).

Sur ce point, les résultats ne semblent pas convergents et ne permettent ni d'infirmier ni de confirmer l'hypothèse, souvent retenue par les praticiens, d'une valeur du temps croissante avec les distances.

Nous avons ainsi examiné une partie des résultats disponibles sur la relation entre valeur du temps et caractéristiques de l'envoi ou de l'entreprise (valeur de l'envoi). Il apparaît que l'on ne rencontre en la matière que peu de régularités. D'une part, nous n'avons rencontré que peu d'éléments théoriques pour expliquer de telles relations. Le plus souvent on est en présence de conjectures. D'autre part, d'un point de vue empirique nous obtenons des phénomènes non monotones (par exemple entre distance et valeur du temps), ce qui rend plus problématique la transférabilité des relations que l'on pourrait éventuellement mettre au jour, puisque cela implique d'estimer un paramètre supplémentaire (un point de retournement).

L'hétérogénéité des valeurs du temps reste donc un domaine dans lequel les connaissances sont partielles. Or, ainsi que nous l'avons examiné précédemment, des méthodes sont disponibles. La production de résultats originaux en la matière apparaît donc comme un objectif pertinent.

Conclusion

Présenter l'ensemble des variantes des techniques de SP et de RP et l'ensemble des discussions qui traversent la communauté scientifique à leur propos, n'était pas et ne pouvait pas être notre objet dans ce chapitre. Nous nous sommes limité à présenter les éléments les plus saillants en regard de notre problématique. Cette présentation nous amène à plusieurs conclusions.

En premier lieu, ces éléments nous montrent l'importance du mode opératoire sélectionné pour les exercices de SP. Sur ce point, l'utilisation des choix discrets s'est imposée, les modalités alternatives ayant montré certaines limites ; parmi celles-ci, les insuffisances des indicateurs de la qualité d'ajustement utilisés dans les méthodes de classement et de notations ne sont pas les moindres. Ce point nous invite pour la suite de notre travail à privilégier, au sein des données de SP, des données de choix discrets.

En second lieu, les méthodes d'utilisation conjointe des données de RP et de SP montrent que le cloisonnement étanche entre ces deux types de données, voire entre deux "écoles", n'est plus aussi pertinent qu'il l'était par le passé. Ce développement suscite dès lors deux types de recherches. Le premier, théorique, concerne la place respective qu'il faut accorder à chaque type de données : faut-il les mettre sur le même rang en corrigeant uniquement le problème de variance des termes aléatoires ? Faut-il au contraire affecter les données de RP au calage de certains coefficients, et les données de SP à certains autres ? Le second, applicatif, concerne la production de résultats empiriques dans le domaine du transport de marchandises, permettant de consolider les quelques résultats déjà disponibles.

En troisième lieu, apparaît centrale pour notre thématique la question de l'hétérogénéité des préférences des chargeurs. Sur ce point, les techniques ont connu un renouveau notable au cours des dernières années : renouveau qui ne touche l'analyse des transports de marchandises qu'avec un retard important. Or, ce point n'est pas mineur, à la fois pour la crédibilité des résultats produits (une des premières réactions du béotien quand on lui présente les analyses économiques de la valeur du temps est de contester des résultats qui ne rendent pas assez compte de la variabilité des situations entre entreprises) et pour la pratique professionnelle, basée essentiellement sur une décomposition sectorielle ou encore l'hypothèse d'une relation croissante entre distance et valeur du temps des transporteurs.

Au sein des deux thèmes cités ci-dessus, la thématique de l'hétérogénéité nous paraît peut être plus pressante que celle de l'utilisation conjointe des RP et des SP. Les travaux d'application empiriques font plus cruellement défaut, les enjeux théoriques liés à la compréhension de cette hétérogénéité étant par ailleurs importants.

On est donc tenté de suivre cette voie. Mais peut-être est-il opportun auparavant de marquer un temps d'arrêt et d'examiner, avant de continuer sur ce chemin, ce que nous avons mis dans notre escarcelle.

Conclusion de la Partie I

A ce point de notre travail nous disposons d'un ensemble de questions, un ensemble de définitions, un ensemble de techniques et un ensemble de résultats.

La **question** que nous avons placée au centre de notre démarche est de savoir comment le décideur public doit prendre en compte les gains de temps du transport de marchandises dans l'évaluation des projets. Sur ce point nous avons rencontré une réponse dominante qui assimile la valeur du temps et économies des coûts de *déplacement* du transporteur. On constate également, mais cela reste une pratique fortement minoritaire, la prise en compte d'une "*valeur du temps des marchandises*", bien que cette dernière ne fasse pas l'objet d'une définition toujours précise ni d'une mesure exacte.

On voit ainsi que dans son approche la plus stricte cette pratique tend à confondre dans une notion unique, la valeur du temps comme *objet*, comme *norme* et comme *mesure*. Si nous reprenons les notations et les **définitions** que nous avons introduites dans le chapitre 1, on constate que cette approche égalise les termes suivants :

- $\delta cd(d_{\min})/\delta d$; coût marginal de déplacement en fonction des durées de déplacement.
- $\delta ct(d_{\min})/\delta d$; coût marginal de transport en fonction des durées de déplacement. En effet, cette approche ne considère pas explicitement la différence entre durées de déplacement et durées hors déplacement. Dès lors la modification du coût de transport se confond avec la réduction du coût de déplacement.
- $\delta W(d_{\min})/\delta d$; valeur que le décideur doit attribuer à une réduction des durées minimales de déplacement.

Enfin cette approche fournit également une technique de *mesure* puisque $\delta ct(d_{\min})/\delta d$ peut être quantifiée par l'analyse des coûts de production des transporteurs, en utilisant, par exemple par la formule proposée par le Manuel COBA.

Concernant la mesure, ces approches sont concurrencées par le champ florissant de **techniques** basées sur l'analyse des préférences, qu'elles soient révélées, déclarées ou mobilisent conjointement ces deux approches. Ce champ expérimental ayant, à la différence de ce qu'il est advenu dans le domaine des voyageurs, maintenu une certaine autonomie par rapport aux pratiques retenues par les administrations pour l'évaluation de projet. On constate ici une imperméabilité des pratiques par rapport aux **résultats** de des estimations basées sur l'analyse des préférences.

Si notre travail s'arrêtait à ce point, toutes les définitions et les distinctions posées en introduction seraient alors inutiles. Notamment la distinction entre durées de *transport* et durées de *déplacement* et celle entre biens *génériques* et biens *spécifiques*, introduites dans notre partie liminaire n'ont pas eu besoin d'être activées dans la présentation que nous avons faite de l'état de l'art. Peut-on analyser la valeur du temps comme si durée de transport et durée de déplacement étaient équivalentes ? Les durées consacrées aux opérations hors déplacement sont-elles négligeables ou neutres par rapport à notre analyse ? La distinction entre biens produits sur commande et biens "anonymes", qui suggère un rapport fondamentalement différent au temps, est-elle sans effet pour notre sujet ? On suggère alors qu'une meilleure compréhension de la valeur du temps passe par les étapes suivantes : une formalisation du rôle du temps, ou plus précisément des durées, pour les chargeurs les transporteurs et les consommateurs, qui prenne en compte à la fois la différence entre durée de transport et durée de déplacement et l'hétérogénéité entre biens spécifiques et biens génériques. Cette formalisation permettant dans un second temps d'examiner de quelle manière une diminution des durées de déplacement minimales peut avoir une influence sur les différents agents économiques.

La partie II de cette thèse examine cette problématique en préalable à des travaux applicatifs qui seront présentés en partie III.

Partie II : Contribution
à une théorie sur
l'utilisation du temps
dans la production et le
transport

Dans cette partie on examine les effets d'une modification des durées de déplacement sur les différents agents économiques.

Le cadre d'analyse que l'on propose repose sur plusieurs éléments.

Tout d'abord, une représentation simplifiée de l'économie en ayant recours à **trois types d'agents économiques** :

- des *producteurs* qui fabriquent des biens et les font transporter. On se placera dans le cas où l'entreprise expéditrice choisit et paie le service de transport. On pourra de ce fait se référer à ces entreprises soit en terme de producteurs soit en termes de chargeurs.
- des *transporteurs*, c'est-à-dire une catégorie particulière d'entreprises qui fournissent un service de transport. On distinguera, lorsque cela sera pertinent, deux types de transporteurs : d'une part, des tractionnaires, c'est-à-dire des transporteurs qui, sauf contrainte particulière n'utilisent que des technologies de traction ; d'autre part, des opérateurs logistiques, qui en plus de ces opérations de tractions utilisent d'autres opérations : stockage intermédiaire, groupage, etc... (la distinction entre tractionnaires et opérateurs logistiques sera affinée dans le cours de notre présentation en faisant intervenir un critère de définition plus précis.)
- des *consommateurs finaux* dont la demande justifie que les biens soient transportés et produits et qui peuvent ne pas être indifférents au moment auquel ces biens sont disponibles.

On raisonne ainsi sur la base d'un triptyque : producteur (chargeur), transporteur, consommateur, dans lequel un chargeur souhaite s'approvisionner, produire un bien et le faire transporter vers un consommateur final. Cette représentation simplifiée, permet de rendre compte des relations entre chargeur et consommateur final d'une part, chargeur et transporteur d'autre part. Elle ne permet certes pas de restituer, de manière complète, la relation entre les producteurs qui représenteraient des maillons successifs de la chaîne de production. Dans de nombreux cas, en effet, les envois sont réalisés par des entreprises à destination d'entreprises. On serait donc tenté, pour des raisons empiriques, de préférer au triptyque : producteur, transporteur, consommateur final ; un triptyque : expéditeur (entreprise), transporteur, destinataire (entreprise). On pourrait alors introduire explicitement dans la formalisation la relation entre plusieurs entreprises qui entrent en jeu successivement dans la production d'un bien. Nous pensons cependant qu'une modélisation intégrant les arbitrages des consommateurs finaux est préférable, car elle permet pour le même nombre d'entités prises en compte dans la formalisation de rendre compte de trois mécanismes d'arbitrage. Le parti inverse, celui qui n'intégrerait que des entreprises, ne pourrait rendre compte que de deux mécanismes d'arbitrage. Si l'on souhaite s'en tenir à une formalisation intégrant trois agents, il apparaît alors préférable, au-delà des éléments empiriques qui nous pousseraient à faire un choix inverse, de sélectionner pour notre analyse le triptyque chargeur, transporteur, consommateur final.

Le second élément sur lequel se base notre analyse est une **représentation de l'acte de transport**.

Le coût d'un transport repose sur une multitude de facteurs. Pour l'analyse que nous voulons mener, nous considérerons que l'essentiel de ces éléments sont fixés. De manière typique, le coût d'un service de transport peut s'écrire comme une fonction $ct((z),t)$, où z est un vecteur de caractéristiques de l'envoi : poids, conditionnement, distance, nature de la marchandise, existence de prestations annexes. Sur ce point, il paraît préférable de considérer l'ensemble de ces éléments comme donnés. Dès lors, on considérera que le coût d'une prestation de transport ne dépend que d'un nombre volontairement limité de facteurs. La durée, d'une part, puisque c'est l'élément que nous plaçons au centre de notre analyse, la distance, d'autre part, puisque le ratio entre distance et durée est un des déterminants des coûts de production de service de transport.

Une autre simplification que l'on effectue est de négliger la décomposition des coûts de déplacement entre plusieurs tronçons. On raisonne sur la base d'un tronçon unique, ou encore représentatif. Certes, cette représentation est une simplification, mais notre parti est de renoncer au surcroît de réalisme que l'on

obtiendrait par une représentation plus fidèle des coûts des transporteurs, pour nous concentrer sur les propriétés essentielles de la relation entre coûts de transport et durée de transport.

Un troisième élément est que l'on n'explique pas les arbitrages effectués sur les distances de déplacement. On néglige tout d'abord le choix d'itinéraire. Ensuite, on ne traite pas de manière explicite l'effet de l'organisation logistique du transporteur sur les distances parcourues. Dans la réalité, le choix par exemple, de procéder à une consolidation des envois sur une plate-forme de stockage peut imposer des kilomètres de déplacement supplémentaires. La prise en compte explicite de la relation entre organisation du transport et distance à parcourir nous semble de nature à masquer des éléments plus fondamentaux des mécanismes que l'on étudie. Le point important est que renoncer à un traitement spécifique de l'effet des choix logistiques sur les distances parcourues, n'implique pas qu'on néglige de tels effets, on pourra par exemple prendre en compte l'existence d'un lien entre coûts de déplacement et réalisation de telle ou telle opération logistique, mais on ne spécifie pas explicitement la manière dont cette relation intervient au travers de la distance parcourue.

Le troisième élément qui définit notre cadre d'analyse repose sur la **prise en compte de l'hétérogénéité**.

C'est-à-dire, d'abord, une hétérogénéité dans un sens large, restituable en terme de diversité, dont on peut éventuellement rendre compte par des paramètres. Elle concerne la variété des goûts des consommateurs et des contextes productifs des entreprises.

Mais il existe de manière plus fondamentale, une hétérogénéité ontique, qui ne peut pas être représentée par des paramètres.

Celle, tout d'abord, qui concerne les durées et oppose **durées de déplacement** et **durées hors déplacement**¹⁴¹. Un des problèmes cruciaux posés par cette hétérogénéité est le "coin" qui s'insinue entre les modifications des durées de *déplacement* et les modifications des durées de *transport*. Une analyse économique des durées de transport devra donc examiner comment les modifications éventuelles des durées de déplacement se répercutent sur les durées de transport.

La seconde hétérogénéité concerne les **produits**. Nous maintenons dans cette partie la distinction entre biens génériques et biens spécifiques, introduite dans le chapitre 1. Cette distinction introduite par Salais et Storper [1993], et reprise par Burmeister [2000] n'est pas très différente de celle entre systèmes de production de type "*push*" et systèmes de production de type "*pull*" ou de la distinction entre "make to order" et "make to stock" (Li [1992]). De manière synthétique, nous y reviendrons, les biens génériques peuvent être produits à l'avance, ils se prêtent à un rapport au temps basé sur la mise en œuvre d'un stock optimal, tandis que les biens spécifiques sont produits selon les spécifications du consommateur, ce qui rend inopérant la gestion par les stocks et crée un rapport au temps totalement différent. En toute rigueur, le caractère générique ou spécifique du bien n'est pas immuable tout au long de la chaîne de production. Comme le souligne la notion de "point de pénétration de la commande", une même unité peut au cours de sa production passer d'un statut générique à un statut spécifique. Toutefois, ce qui est vrai pour différents stades d'élaboration d'une unité de produit, peut être écarté lorsque l'on considère un envoi unique, qui a lieu à un stade donné de la transformation d'un produit.

Le cadre méthodologique ainsi décrit nous permet d'analyser de quelle manière une modification des durées de déplacement minimales affecte les différents agents économiques. On suppose ainsi qu'il existe une durée minimale de déplacement, notée d_{\min} , qui est contraignante pour la formation des transactions sur les marchés considérés.

¹⁴¹ On pourra aussi dire durées "métakinésiques", et durées "amétakinésiques".

Dans le **chapitre 5**, on examine de manière statique comment les différents agents économiques réalisent des arbitrages par rapport aux durées qu'ils consacrent aux différentes opérations. Cette analyse est donc réalisée pour un niveau donné des durées minimales de déplacement.

Dans le **chapitre 6**, on examine de quelle manière un équilibre résulte du comportement optimisateur des différents agents et comment cet équilibre, contingent à un niveau des durées minimales d_{\min} , est affecté lorsque les durées minimales sont modifiées.

Chapitre 5 : Le rôle des durées pour les transporteurs, les producteurs et les consommateurs

*"Devät' žien za mesiac neporodi."¹⁴²
Proverbe slovaque.*

Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons d'analyser comment les différents agents économiques choisissent la durée qu'ils consacrent à différentes opérations. Il s'agit à la fois de poursuivre une analyse relativement standard dans laquelle les opérations des transporteurs sont représentées dans un cadre temporel, mais aussi d'étendre cette analyse, en montrant que les durées interviennent également en amont et en aval des opérations de transport, dans les arbitrages des consommateurs et dans ceux des producteurs. Nous montrons ainsi de quelle manière chacun des agents détermine les durées qu'il consacre à différentes opérations. Les mécanismes de comportement ainsi explicités seront utilisés dans le chapitre suivant pour connaître de quelle manière un équilibre se crée sur "le marché des gains de temps" et de quelle manière cet équilibre peut être affecté lorsque les durées minimales de déplacement sont modifiées.

Dans une première partie, nous examinons comment les durées de transport affectent les **coûts des transporteurs**. On restitue cette problématique dans le cadre d'une distinction entre durées de déplacement et durées hors déplacement et on analyse les arbitrages des transporteurs entre ces deux types de durées et les coûts correspondants.

Dans une seconde partie, nous analysons comment les **producteurs** arbitrent entre durées consacrées au transport et – le lien sera explicité – les durées dédiées à la production.

Enfin, dans une troisième partie, nous regardons de quelle manière les durées de transport peuvent avoir un effet sur le **consommateur**, lorsque celui-ci consomme un bien spécifique et que ses préférences varient en fonction du moment auquel le bien est mis à sa disposition.

1 Les coûts des transporteurs dépendent des durées

Dans cette partie, on vise à construire une courbe de coût de production du transport en fonction des durées de transport.

¹⁴² Une femme peut faire un bébé en neuf mois, mais neuf femmes ne peuvent pas faire un bébé en un mois.

Dans un premier temps, on présente, pour l'écartier, une formulation du coût de production du transport qui résulterait d'une minimisation des coûts par le transporteur. Cette formulation aboutit à la fois à des difficultés analytiques et elle néglige que les arbitrages des transporteurs s'effectuent en fonction d'un coût optimal, correspondant à un niveau de service optimal, et non d'un coût minimal.

Une fois cette approche écartée, on formalise la relation entre durée et coût de production du transport en considérant,

- tout d'abord, le coût des opérations de déplacement, sur lequel différents éléments empiriques peuvent être convoqués
- puis le coût des opérations hors déplacement, sur lequel on devra mettre en œuvre, à défaut d'éléments plus probants, des heuristiques.

1.1 Limites d'une approche fondée sur une minimisation des coûts

Dans un premier temps, on est tenté de procéder par une approche standard, micro fondée, en définissant une fonction de coût minimal résultat d'un programme de minimisation des coûts pour un niveau donné des prix des facteurs et un niveau de production donnée. Soit :

$$c(p;y) = \min_{(x)} (x.p)$$

$$\text{s.c. : } f(x) = y$$

avec :

$c(y;p)$,	fonction de coût,
x ,	vecteur quantité des facteurs utilisés,
p ,	vecteur de prix des facteurs,
$f(x)$,	fonction de production,
y ,	nombre d'unités produites.

Cette formulation présente toutefois l'inconvénient de butter sur de réelles difficultés analytiques.

La première difficulté réside dans la mesure des quantités produites, puisque les t.km ne fournissent qu'une variable proxy de la production¹⁴³. A supposer que cette première difficulté soit négligeable, on butterait sur d'autres difficultés qui peuvent être illustrées pour les deux configurations de production des transporteurs : le tractionnaire et l'opérateur logistique.

Ainsi, si l'on applique cette formulation au *tractionnaire*, il faut pouvoir rendre compte d'éléments technologiques portant notamment sur le rendement des moteurs. Ainsi que nous l'avons vu dans le chapitre 2 sur la base des données du COBA, le coût kilométrique de fonctionnement d'un véhicule motorisé, en fonction de la vitesse, a , typiquement, un profil en U. Cela implique que le coût des facteurs doit intégrer un élément non monotone. Cette difficulté n'est pas insurmontable, ainsi que le suggère l'encadré ci-dessous, mais il s'en ajoute une autre. Dans le cas du tractionnaire, les quantités consommées des différents facteurs peuvent s'exprimer en termes de durée (durée de travail du chauffeur, durée d'utilisation du camion, durée de circulation). Or, cette durée, n'est pas seulement un élément de coût mais elle détermine aussi les recettes du tractionnaire. De ce fait, la fonction de coût minimal intègre un processus d'arbitrage qui n'est pas celui à l'œuvre dans les décisions réelles du transporteur.

¹⁴³ Si un opérateur choisit de faire parcourir plus de kilomètres à ses camions pour pouvoir les amener à un centre de groupage, cela ne veut pas dire qu'il produit plus de service de transport.

Encadré 8 : fonction de coût minimal de transport pour un tractionnaire

On définit la fonction de coût minimal d'un service de transport de la manière suivante ¹⁴⁴ :

$$c(y;w;q) = \min_d (c(y,d;w;q)) = \min_d (d \cdot w + d \cdot q + k \cdot g(k/d))$$

$$\text{sc : } k \cdot p = y$$

avec :

- c, coût de production,
- d, durée de déplacement,
- w, coût salarial horaire (donné),
- q, coût horaire du capital (donné),
- g, fonction de la technologie (coût kilométrique variable en fonction de la vitesse),
- k, distance du déplacement (donnée),
- p, poids de l'envoi,
- y, quantité de service de transport (exprimé en tonnes.km).

La durée de déplacement qui minimise les coûts, notée d^* vérifie les conditions de premier ordre. Soit :

$$w + q - k \cdot g' \cdot k / (d^*)^2 = 0, \text{ avec :}$$

$$g' = \delta g / \delta (k/d).$$

Ce qui donne :

$w + q = g' \cdot k^2 / (d^*)^2$, ce qui n'admet de racine que si $g' > 0$ (ce qui signifie des coûts croissants en fonction des vitesses).

Les durées de coût minimal vérifient :

$$k^2 \cdot g' / (w + q) = (d^*)^2$$

La seule racine acceptable étant celle située dans \mathbb{R}^+ , $d^* = k \sqrt{\frac{g'}{w + q}}$

On vérifie qu'à l'optimum la durée de coût minimal est :

- d'autant plus faible que les coûts horaires du capital et du travail sont élevés,
- d'autant plus élevée que les coûts de fonctionnement sont sensibles à la vitesse (s'il coûte plus cher d'aller vite, on acceptera une durée élevée),
- d'autant plus élevée que la distance est importante.

La fonction de coût minimale est alors obtenue en réintroduisant la durée d^* dans la fonction de coût :

$$c(y;w;q) = (w + q) \cdot k \sqrt{\frac{g'}{w + q}} + k \cdot g(k / \sqrt{\frac{g'}{w + q}}).$$

On constate que la fonction de coût ainsi obtenue n'est pas très opératoire. On ne parvient à éliminer d de la fonction de coût minimal ($g'(k/d)$ dépend de d), qu'en utilisant une fonction réciproque (fonction qui, en outre, doit être définie par partie du fait de la non-monotonie de d).

Qu'en est-il dans l'autre cas polaire considéré, celui des *opérateurs logistiques* ?

La difficulté est alors que la caractérisation de la technologie est plus difficile, du fait de la multiplicité des effets qu'une telle caractérisation devrait prendre en compte. Par exemple :

- un opérateur logistique peut abaisser le coût horaire du capital dans l'opération de *déplacement* en utilisant du capital et du travail dans d'autres opérations (stockage, transbordement, etc).
- Il peut augmenter la quantité de travail et de capital consommée dans les opérations hors déplacement s'il modifie la vitesse de déplacement (par exemple en augmentant la vitesse lors de l'opération de déplacement, on peut réussir à atteindre la frontière avant l'heure de fermeture du poste concerné, on peut atteindre une plate-forme multimodale avant l'heure de départ d'un train). Ou encore si le camion

¹⁴⁴ On se base sur l'équation (2.7) du chapitre 2 en explicitant le rôle des variables w et q .

a une durée de déplacement trop importante il ne peut pas réaliser le transport dans les limites horaires de roulement, il doit donc subir le coût d'un repos réglementaire.

En fait, dans le cas de l'opérateur logistique, les possibilités de substitution sont multiples. Elles ne se matérialisent pas principalement par la substitution entre durée de déplacement (travail des chauffeurs et heures d'utilisation des camions) et durées hors déplacement, mais par le fait que le coût unitaire des unités mises en œuvre dans le déplacement dépend de l'existence d'opérations hors déplacement : typiquement la logistique moderne repose sur la large diffusion de pratiques de groupages qui se justifient par l'économie du coût de déplacement (par envoi) que l'on obtient au prix d'opérations hors déplacement (tri, stockage intermédiaire, transbordement). Ces différents effets sont nombreux et peuvent parfois intervenir de manière subtile ainsi que le suggèrent certains exemples fournis par McKinnon [1998] dans son étude des effets de la congestion :

- la congestion peut réduire le temps disponible pour collecter un chargement pour le retour du véhicule et donc augmenter la part des déplacements qui sont effectués à vide.
- si la vitesse diminue sur les routes congestionnées, un moindre nombre de livraisons / retraits de marchandises peut être effectué, ce qui réduit le degré de consolidation des chargements.
- les biens qui arrivent de manière trop tardive au centre de distribution ne peuvent parfois pas être manutentionnés à temps pour le départ, ce qui diminue le taux de chargement des véhicules qui partent.

La difficulté est que la caractérisation de la fonction de production et la détermination du coût des facteurs deviennent d'une grande complexité à moins de spécifier un grand nombre des restrictions a priori qu'il faudrait alors étayer.

Dans les deux situations polaires étudiées, celle d'un transporteur qui n'effectuerait que de la traction et celle d'un opérateur logistique susceptible de mettre en œuvre des substitutions nombreuses et parfois subtiles entre les différentes composantes de la prestation de transport, on fait face à des difficultés pour utiliser une approche standard basée sur la formulation d'un problème de minimisation des coûts des facteurs sous contrainte de quantité. Pour la situation du *tractionnaire*, dans laquelle les durées de déplacement jouent un rôle duplice puisqu'elles interviennent à la fois dans le calcul des coûts de production et dans la détermination des recettes, la formalisation d'une fonction de coût minimal ne semble pas fournir un outil pertinent pour analyser les comportements du transporteur. Pour celle de *l'opérateur logistique* pour lequel le rapport entre les durées de déplacement et les recettes est plus distant puisque la durée de déplacement peut n'être qu'une fraction de la durée totale de l'opération, la difficulté est alors liée à la multiplicité des effets croisés entre les différentes composantes du coût logistique. Nous avons jugé préférable de ne pas représenter ce processus productif par une fonction de coût basée sur une minimisation du coût en fonction des durées.

Nous avons donc préféré une autre approche qui laisse subsister dans la fonction de coût de production du transport les durées consacrées aux différentes opérations de transport et suppose que la minimisation des coûts a été effectuée par rapport à toutes les variables de contrôle, à l'exception des durées. En d'autres termes, plutôt que de considérer la durée comme une mesure de la quantité de facteur utilisée, et de chercher le niveau de coût qui résulterait de sa minimisation, on cherche à établir une fonction de coût dont l'argument est la durée, et qui fournit pour chaque durée possible le coût minimal. La différence est que l'on maintient un degré de liberté supplémentaire dans la fonction de coût, qui permet au transporteur de proposer un service de transport pour une durée qui n'est pas celle de coût minimal.

1.2 Coûts de déplacement et coûts hors déplacement

Dans ce cadre, le coût (minimal) de production du service de transport, pour un envoi donné, dépend outre des caractéristiques de l'envoi, des durées qui sont dédiées aux différentes opérations de transport (en distinguant d'une part, *déplacement* à proprement parler, et d'autre part, *opérations hors déplacement* :

stockage, passage de frontière, chargement, déchargement. etc). Ce coût peut s'écrire de manière assez générale comme :

$$\text{cpt}((z),(d),(i)) = \sum_{\ell=1}^{\ell} \text{cd}((z), d_{\ell}, (i)) + \sum_{j=1}^J \text{chd}_j((z); (d); (i)), \text{ avec :} \quad (5.1)$$

cpt ,	coût de production du transport en fonction de d, z et (i),
cd ,	coût de déplacement,
(z) ,	vecteur des caractéristiques de l'envoi
ℓ ,	indice représentant le tronçon sur lequel le véhicule se déplace.
d_{ℓ} ,	durée de déplacement sur le tronçon ℓ ,
(d) ,	vecteur des durées de déplacement sur les différents tronçons,
(i) ,	le vecteur des durées consacrées aux opérations hors déplacement,
j ,	indice permettant d'identifier une opération hors déplacement,
$\text{chd}_j((z),(d),(i))$,	"coût hors déplacement", est le coût de production de l'opération hors déplacement j.

Le dernier élément de cette liste, $\text{chd}_j((z),(d),(i))$, dépend du vecteur des durées hors déplacement et de la durée de déplacement.

Par convention, on supposera que si (et seulement si) la durée i_j dédiée à l'opération j est nulle, cette opération n'est pas effectuée ; soit : $\text{chd}_j((z), (d), (i)) = 0$ ssi $i_j=0$.

Cette formulation peut être simplifiée en introduisant deux hypothèses :

- on néglige le vecteur des caractéristiques de l'envoi, à l'exception d'une seule composante : la distance de l'envoi notée k
- on néglige la décomposition de l'opération de transport en tronçons successifs, et on raisonne sur la base d'un tronçon représentatif.

On peut alors écrire :

$$\text{cpt}(k,d,(i)) = \text{cd}(k, d, (i)) + \sum_{j=1}^J \text{chd}_j(k, d, (i)), \text{ avec les mêmes notations} \quad (5.2)$$

Cette formulation impose quatre remarques.

Tout d'abord, il s'agit du coût de transport par envoi. Cela implique que si une opération de transport concerne plusieurs envois groupés, le coût de cette opération devra être réparti entre les différents envois.

En second lieu, cette fonction est définie pour un niveau donné du coût des facteurs et pour un état donné de l'organisation logistique.

En troisième lieu, la présence du terme (i) dans la fonction cd, et du terme d dans la fonction chd, permet de se placer dans le cas général où l'on autorise des **effets croisés** : les durées de *déplacement*, d, peuvent influencer sur les coûts des opérations hors déplacement chd_j ; et, réciproquement, les durées hors déplacement i peuvent influencer les coûts de déplacement cd. Par exemple la durée de stockage influence le coût unitaire des envois parce qu'un stockage plus long permet de consolider les envois. En l'absence **d'effets croisés les coûts** s'écriraient.

$$\text{cpt}(k, d, (i)) = \text{cd}(k, d) + \sum_{j=1}^J \text{chd}_j(k, (i)) \quad (5.3)$$

Enfin, on pourrait ajouter à cette formulation des **coûts fixes** : par exemple les coûts liés à chaque envoi (traitement de la commande, facturation, etc) ou des coûts fixes liés à l'activité du transporteur (charges fixes annuelles indépendantes du niveau d'activité pour les quantités courantes). Mais leur inclusion explicite n'est pas indispensable car les premiers ne rentrent pas en jeu dans les arbitrages que

fait le transporteur par rapport aux durées, tandis que les seconds peuvent, in fine, être considérés comme un coût variable par rapport à la durée des envois (si la durée d'un envoi diminue la quote-part des coûts fixes temporels qui peut être imputé sur l'envoi peut diminuer¹⁴⁵).

Les équations (5.2) et (5.3) nous dotent, moyennant quelques hypothèses simplificatrices (tronçon unique représentatif ; caractère exogène des autres déterminants du coût de production du transport), de deux formulations qui peuvent être utilisées pour formaliser l'effet des durées de transport sur les coûts de transport. La première formulation nous permet de prendre en compte l'ensemble des interdépendances entre coûts et *durées des opérations de déplacement* et des opérations *hors déplacement*. La seconde néglige de tels effets et nous permet de représenter la relation entre coût et durée de manière plus simplifiée.

Dotés de ces formulations, on peut alors rechercher à caractériser chacune des composantes des coûts de transport : coût de déplacement et coût hors déplacement. De fait la quasi-totalité des résultats disponibles concernent le coût de déplacement, pour lequel on dispose d'estimations empiriques, alors que peu d'éléments sont disponibles concernant le coût des opérations hors déplacement.

Que sait-on de la fonction de coût de déplacement ?

Nous avons présenté dans le chapitre 2 consacré aux coûts de déplacement, différentes formulations du coût de déplacement, ainsi que différentes estimations empiriques des fonctions de coût. Nous reprenons les éléments qui sont utiles pour la suite de cette partie. De manière générale la fonction de coût de déplacement pourra s'écrire, si l'on suppose l'absence d'effets croisés entre durées de déplacement et durée hors déplacement, sous la forme que nous avons proposée dans le chapitre 2 (équation (2.7)) :

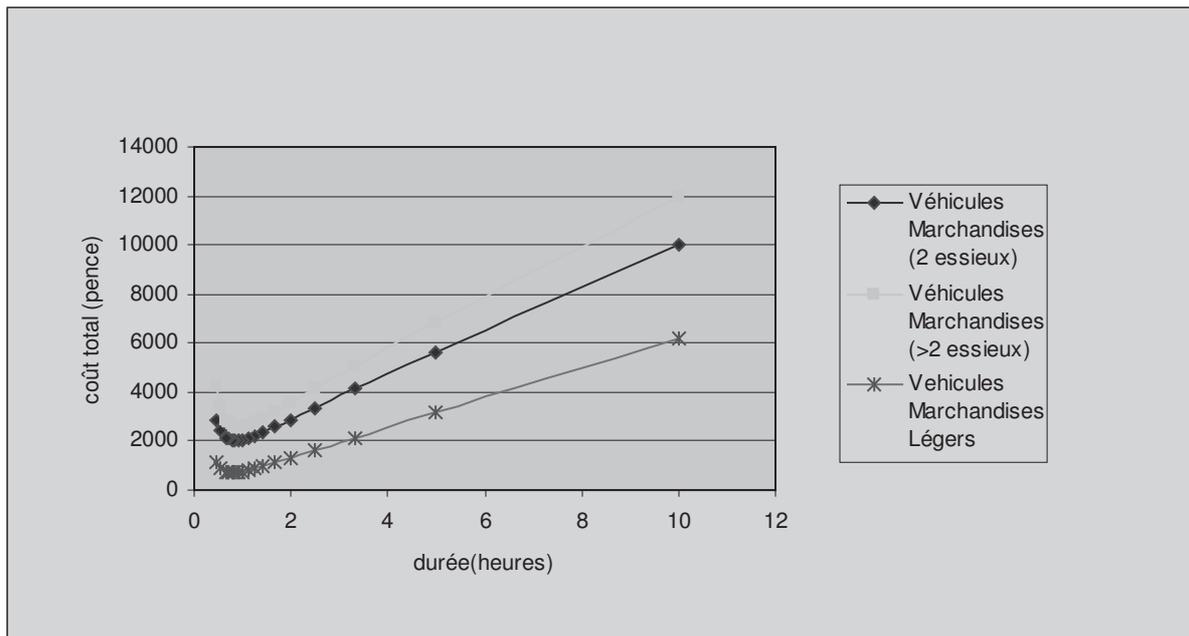
$$cd(k,d) = w.d + q.d + k.g(k/d) \text{ avec :} \quad (2.7)$$

k,	distance de déplacement,
d,	durée de déplacement,
w,	coût horaire du travail,
q,	coût horaire du capital,
g(k/d),	coût variable en fonction de la vitesse.

On fournit ci-dessous une représentation de cette fonction telle qu'elle est estimée par le manuel du COBA, avant d'examiner comment elle peut être utilisée pour notre analyse. La Figure 18 ci-dessous, fournit une représentation du coût de déplacement en fonction de la durée de déplacement pour un trajet de 100 km. (la fonction a alors comme unique argument la variable d). Elle distingue par ailleurs trois types de véhicules : Light Goods Vehicles (véhicules marchandises légers), Other Goods Vehicles 1 (véhicules marchandises à deux essieux) et Other Goods Vehicles 2 (véhicules marchandises de plus de deux essieux).

¹⁴⁵ Sur ce point, une discussion concernant la réutilisation des gains de temps par le transporteur pourrait être menée. Nous renvoyons aux éléments que nous avons présentés dans le chapitre 1.

Figure 18 : coût total de déplacement (personnel de conduite + coût d'utilisation des véhicules) en fonction de la durée de déplacement



Source : Transport Economic Note, mars 2001

Cette représentation montre que les coûts de déplacement varient, en fonction des durées (et pour une distance donnée) selon une **courbe en U**. Certes, la partie décroissante de cette courbe apparaît peu importante : elle ne concerne qu'une plage limitée de valeurs de la durée ; par ailleurs elle correspond à des vitesses qui dans le domaine routier sont hors de portée des véhicules considérés. Toutefois nous proposons de maintenir ce type de représentation par une courbe en U. Cette hypothèse permet notamment de ne pas exclure a priori des phénomènes qui, s'ils ont une pertinence limitée pour le mode routier, peuvent être adaptés pour d'autres modes.

En second lieu, cette représentation pourrait être trompeuse en ce qu'elle ne prend pas en compte l'existence d'une **contrainte sur les durées de déplacement**. En général, seule une partie de cette courbe est disponible puisque les durées seront **contraintes par un minimum** noté d_{\min} . Le transporteur sera limité par la vitesse qu'il peut pratiquer sur l'itinéraire sélectionné. Il peut s'agir soit d'une limitation due aux conditions de circulations (engorgements) soit d'une limite due à des contraintes réglementaires (vitesses limites pour les PL), soit encore de limites techniques du véhicule tracteur. Dans ce cas, la courbe de coût sera certes définie pour des durées inférieures au minimum mais elle ne sera pas disponible pour les arbitrages du transporteur. Dans l'ensemble de ces cas, il semble brutal de représenter cette contrainte sous la forme d'une durée minimale, nous raisonnerons cependant sur la base de cette représentation, tout en notant que la courbe de la fonction $cd(d)$ n'aura probablement pas dans la réalité une véritable troncature mais plutôt une forte pente au voisinage de d_{\min}^+ .

Pour le transport routier cette contrainte se situera dans la partie croissante de la fonction $cd(d)$. Sur la base des données du DETR, la vitesse qui minimise les coûts est de 140 km/h pour les P.L. à plus de deux essieux. Le point de troncature imposé par les limites techniques des moteurs, la réglementation (même si celle-ci est suivie avec créativité par les transporteurs) correspondra à une valeur inférieure à ce chiffre. Dans le cas français, une observation stricte des limitations de vitesse (90 km/h sur l'autoroute) placerait ce point de troncature à 1h 20 pour un trajet de 100 km, alors que la durée de coût minimal serait de 42 min. Ici encore, si l'on souhaitait s'en tenir à une approche purement routière, on pourrait alors raisonner en considérant la seule partie croissante de la courbe $cd(d)$. Toutefois cette conclusion pourrait ne pas s'appliquer à d'autres modes : aérien, maritime, ferroviaire. C'est pourquoi, il est préférable de ne pas éliminer a priori la partie décroissante de la courbe de coût de déplacement.

De ce fait, on est amené à retenir comme représentation de la fonction de coût de déplacement, une courbe en U tronquée.

Nous nous en sommes jusqu'ici tenu au coût de déplacement, ce qui doit être complété par une analyse des coûts des opérations hors déplacement. Sur ce point on ne présentera pas d'éléments empiriques, mais on examinera, sur une base essentiellement heuristique, comment un opérateur logistique peut choisir d'une part, les opérations qu'il utilise et, d'autre part, la durée qu'il consacre à chacune d'entre elles.

Coût des différentes opérations hors déplacement

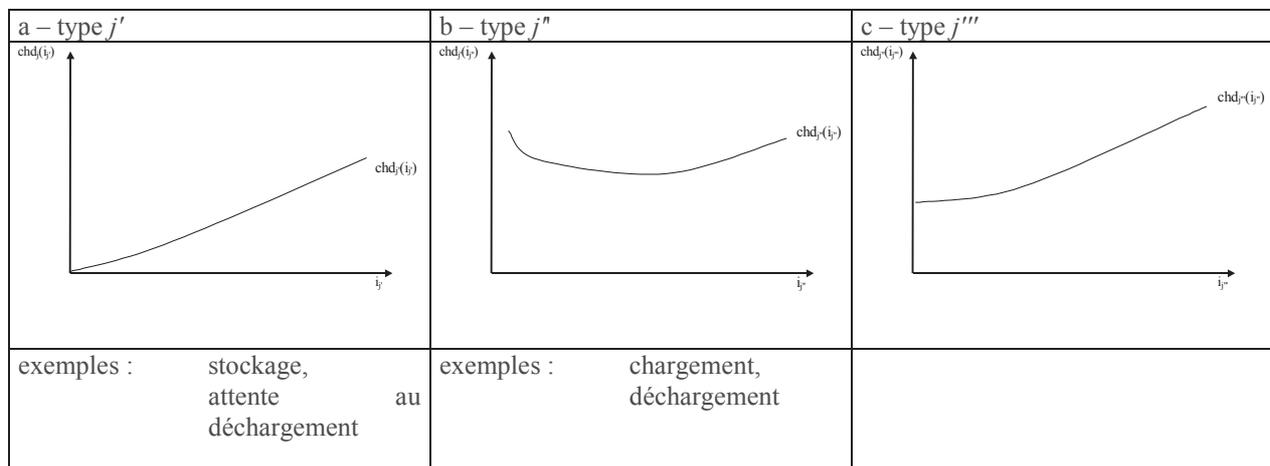
Les opérations hors déplacement sont l'ensemble des opérations qui font partie de la prestation de transport mais au cours desquels l'envoi n'est pas, à proprement parler, en déplacement dans un véhicule ; par exemple : les passages de frontières, l'embarquement et le débarquement, le chargement et le déchargement, le stockage intermédiaire ou encore les phases du transport où l'ensemble véhicule - chauffeur est en attente ou en repos.

De manière heuristique on peut supposer que le coût d'une opération n'est pas invariant par rapport à la durée qui lui est consacrée. Cette relation est notée conformément à l'équation (5.2) $chd_j(k,d,i)$. On procède à une simplification supplémentaire en supposant que le terme k n'a pas d'effet sur le coût des opérations hors déplacement. On définit ainsi : $chd_j(d,i)$, coût de l'opération hors déplacement j en fonction de la durée de déplacement d , et du vecteur des durées passées en déplacement (i). On présente tout d'abord plusieurs types de relation entre durées et coût des opérations hors déplacement, puis on examine de quelle manière le transporteur arbitre entre ces différentes opérations.

Plusieurs types de coût d'opérations hors déplacement

On suggère qu'il existe trois types de relation entre la durée d'une opération i_j et son coût $chd_j(i_j)$. Ces trois types de relation sont représentées (pour un niveau donné de la variable d) sur la Figure 19.

Figure 19 : coût des opérations hors déplacement en fonction des durées : trois types de relation¹⁴⁶



Certaines opérations auront un coût monotone croissant en fonction de la durée qui leur est consacrée. Ce type de situation est représenté par la courbe $chd_j(i_j)$ (coût de l'opération hors déplacement j' en fonction de sa durée) dans le volet intitulé **type j'** . L'existence d'une telle relation est assez immédiate par exemple pour des opérations comme le stockage : plus l'opération de stockage dure dans le temps plus elle coûte. On pourrait aussi citer comme exemple les repos des chauffeurs, indépendamment du fait que ces repos soient ou non rémunérés. Le coût de ces opérations sera continu en zéro.

¹⁴⁶ pour un niveau donné de la variable k .

Toutefois, ce type de relation durée-coûts ne permet pas de caractériser toutes les opérations hors déplacement. Aussi il existe un second type de relation qui peut être représenté par une courbe en U. Ce type de relation est illustrée sur la Figure 19, dans le volet intitulé **type j''** , par la courbe $chd_{j''}(i_{j''})$. Par exemple le coût unitaire de chargement ou déchargement¹⁴⁷ peut devenir plus élevé si l'on désire que cette opération prenne très peu de temps. Dans cette situation, il faudra avoir à disposition du capital ou du travail en excès par rapport à leur quantité optimale pour s'assurer que les marchandises pourront être déchargées plus rapidement. Il pourra devenir nécessaire de substituer du capital à du travail au-delà du point qui rend cette substitution économique pour le transporteur. Ou encore, on devra avoir à disposition pour le chargement ou le déchargement une main d'œuvre qui dans le plan optimal de production devrait à ce moment là être utilisée pour d'autres opérations. Un second exemple est celui des passages de frontières dont la durée peut être réduite par le recours à un transitaire en douane¹⁴⁸.

On ajoute un autre type de relations entre coût et durée, où le coût de l'opération croît de manière monotone, mais n'est pas continu en zéro. Cette situation est représentée par la courbe $chd_{j'''}(i_{j'''})$ sur le volet **type j'''** de la Figure 19. Il est plus difficile de fournir des exemples pour ce type d'opérations. Notre choix sur ce point a été de ne pas exclure a priori ce type de configuration.¹⁴⁹

On propose ainsi trois types de relations entre la durée d'une opération hors déplacement et son coût.

- Soit une relation monotone croissante nulle en 0 (relation de type j') ;
- soit une relation décroissante puis croissante, de coût minimal strictement supérieur à 0 (de type j'') ;
- soit une relation monotone croissante non nulle en 0 (de type j''').

Une difficulté qui surgit alors, est que les opérations de type j'' et j''' imposent un surcoût (elles ont une discontinuité en 0). Il faut donc analyser de quelle manière l'inclusion de telles opérations dans une prestation de transport peut être justifiée. Sur ce point, nous identifierons deux motifs : d'une part, ces opérations peuvent parfois être obligatoires ; d'autre part, elles peuvent permettre de diminuer les coûts de déplacement. Pour mettre en évidence de tels mécanismes on est alors amené à examiner plus en détail la manière dont les transporteurs réalisent des arbitrages dans l'utilisation d'opérations hors déplacement.

Arbitrages des transporteurs par rapport aux opérations hors déplacement

Dans un premier temps, on montre de quelle manière le choix des *durées* hors déplacement s'insère dans un processus de choix plus général, et plus complexe, dans lequel le transporteur choisit *quelles* opérations hors déplacement il va activer pour réaliser tel ou tel envoi. En outre, ce processus fait intervenir certaines caractéristiques techniques des opérations hors déplacement, et amène à distinguer de nombreuses situations.

Dans un second temps, on s'attache à quelques cas typiques. On montre de quelle manière les transporteurs arbitrent entre la durée consacrée à différentes opérations hors déplacement, et comment on peut de la sorte construire une fonction de coût pour l'ensemble des durées hors déplacement.

¹⁴⁷ La durée de chargement et de déchargement est déterminée de manière mixte puisqu'elle dépend seulement en partie de l'opérateur de transport et en partie des choix réalisés par l'expéditeur ou le destinataire.

¹⁴⁸ Cet exemple suggère, par ailleurs, que l'arbitrage entre durée et coût pourrait être un choix discret. Il n'est probablement pas possible d'obtenir toute durée de passage de frontière, mais simplement une valeur dans un ensemble de valeurs discrètes. Nous négligerons cette difficulté et supposerons que les différentes durées hors déplacement sont disponibles pour un ensemble continu de valeurs.

¹⁴⁹ Les trois cas que nous avons présentés combinent deux critères : un critère de monotonie et un critère de valeur minimale de la fonction. Si on croise ces deux critères on serait donc tenté de considérer une quatrième situation où la fonction de coût est décroissante puis croissante et à une valeur minimale égale à 0. Toutefois nous avons supposé que $chd_{j'''}(i_{j'''}) = 0$ ssi $i_{j'''} = 0$. On ne peut donc pas retenir cette quatrième situation parmi nos cas de figure.

Choix d'une chaîne d'opérations

On peut appeler "*chaîne d'opérations*", le sous-ensemble $I \subset \{1, \dots, J\}$ des opérations qui sont effectivement utilisées par un transporteur pour un envoi donné. Les transporteurs dotés d'une organisation flexible seront à même de modifier ce sous-ensemble dans leur processus d'optimisation tandis que d'autres transporteurs fonctionneront par rapport à une chaîne d'opérations figée.

La description des processus d'arbitrages utilisés par les transporteurs fait intervenir plusieurs propriétés des opérations concernées. Nous les listons tout d'abord avant de définir leur contenu : **l'existence d'effets croisés, la séparabilité, la compétence, l'existence de coûts d'entrée, la discrétionnalité, l'existence d'une contrainte, l'interdépendance, les conditions économiques au point de troncature de la courbe de coût de déplacement, et la comparaison entre le surcoût d'une augmentation de d et le surcoût minimum d'une autre opération.**

- Le caractère **obligatoire** ou **discrétionnaire** de certaines opérations. On entend par obligatoire le fait qu'une opération ne dépende pas d'un arbitrage du transporteur, mais est imposée par la nature même de l'envoi. Par exemple un passage de frontière pourra être obligatoire si l'origine et la destination de l'envoi sont situées dans deux pays différents ; un transbordement sera nécessaire pour un déplacement à destination d'une île. Bien entendu cette notion n'existe pas dans l'absolu et elle se définit par rapport à un envoi donné. En outre, le type de l'opération obligatoire n'est pas indifférent. Une opération obligatoire de type j'' ou j''' imposera un coût minimal strictement positif. Par ailleurs, une opération de type j'' introduira également un élément de convexité dans les arbitrages des transporteurs : la *réduction* des durées des opérations de déplacement imposera dans la partie décroissante de la courbe, une *augmentation* des coûts. Les opérations de type j'' cumulent ainsi deux particularités : existence d'une discontinuité en zéro (coût d'entrée) et d'une partie décroissante de la courbe de coût. On sera amené dès lors à réserver un traitement particulier à ces opérations.
- Nous avons déjà présenté la notion **d'effets croisés** qui désigne l'existence de relations entre la durée consacrée à des opérations *hors déplacement* et le coût de *déplacement*. Cette propriété influe sur les arbitrages effectués par les transporteurs. Elle représente par exemple le fait qu'en réalisant une opération de cross-docking, le transporteur peut consolider les envois et réduire le coût de déplacement correspondant à chaque envoi.
- La **séparabilité** du coût des différentes opérations hors déplacement. La question de la séparabilité est proche de la notion évoquée au point précédent de cette liste (présence ou absence d'effets croisés) et revient à analyser si le coût de chaque opération hors déplacement est séparable des autres. La question est ici de savoir si en modifiant la durée consacrée à une opération hors déplacement on peut modifier le coût d'une autre ? Ici aussi, on est tenté de rejeter les restrictions a priori qui ne seraient pas solidement étayées, ce qui revient à considérer qu'un grand nombre d'effets sont possibles. Par exemple, la durée des opérations de chargement peut avoir un effet sur la durée des repos réglementaires du chauffeur ou sur le coût de conduite (si elle déclenche un seuil de rémunération en heures supplémentaires) ou sur la durée de passage des frontières (si le poste frontière concerné ne fonctionne qu'un nombre réduit d'heures chaque jour). Si l'on souhaite prendre en compte de tels effets on doit alors considérer que la durée consacrée à une opération hors déplacement aura des effets sur le coût de plusieurs opérations. L'effet d'une modification marginale de la durée consacrée aux différentes opérations pourra s'écrire:

$$\sum_{m=1}^{m=J} \delta \text{chd}_m(i) / \delta(i_j) \quad (5.4)$$

On pourra cependant accepter quelques hypothèses simplificatrices. Dans le cas où chaque opération hors déplacement a un coût **séparable**, on aura $\delta \text{chd}_j(i_j) / \delta(i_k) = 0, \forall j \neq k$. L'effet d'une modification marginale devient

$$\delta \text{chd}_j(i_j) / \delta(i_j) \quad (5.5)$$

Prendre en compte des coûts hors déplacement non séparables, permettrait certes d'obtenir un surcoût de réalisme, mais au prix d'une difficulté analytique supérieure. Décisif est le fait que la notion d'effets croisés (entre opérations de déplacement et opération hors déplacement et leurs coûts respectifs) permet de rendre compte d'effets de premier ordre, qui s'attachent directement à notre

objet d'analyse. Nous proposons donc, sauf mention contraire, de nous en tenir à des fonctions de coûts hors déplacement **séparables**.

- **La capacité d'un transporteur à mettre en œuvre une opération** : certains transporteurs pourraient ne pas être capables de mettre en œuvre certaines opérations. Dans ce cas l'arbitrage est contraint. Dans nos notations la durée et le coût de cette opération sont contraints à être égaux à 0.
- L'existence d'un "**coût d'entrée**" sur certaines opérations. Par exemple, sur la Figure 19, l'opération j' a un coût continu en 0, tandis que l'opération j'' ou l'opération j''' sont discontinues en 0. Cela implique que la mise en œuvre de ces opérations aura un coût d'entrée.
- L'existence de durées **minimales contraignantes** pour certaines opérations. Dans ce cas, la courbe de coût d'une opération hors déplacement est (de même que la courbe de coût de déplacement présentée dans la section précédente) tronquée.
- **L'interdépendance** entre certaines opérations. Il s'agit là de l'interdépendance physique liée au fait que certaines opérations sont complémentaires. Par exemple une opération de stockage nécessite des opérations de chargement et de déchargement.
- **La dépendance entre durées** : il est possible que la durée d'une opération hors déplacement ait un effet sur la durée des autres. Par exemple, la durée consacrée au passage d'une frontière peut rendre impossible le fait d'arriver à temps dans un dépôt intermédiaire, et imposer une durée de stockage plus importante.
- **Les conditions économiques au point de troncature** se réfèrent au signe de la dérivée de la fonction du coût de déplacement $cd(d)$ au point de troncature. En effet, si $cd'_d(d_{\min}) < 0$, le transporteur peut réduire ses coûts en accroissant la durée de déplacement. Dans le cas contraire, si $cd'_d(d_{\min}) > 0$, l'entreprise ne peut pas réduire ses coûts en ralentissant ses déplacements, cela crée une situation où le transporteur est poussé à réduire au minimum ses durées de déplacement. Sur ce point, dans le domaine routier, les données empiriques disponibles suggèrent que $cd'_d(d_{\min}) > 0$, c'est-à-dire qu'un ralentissement des déplacements implique une augmentation des coûts de déplacement. Nous proposons, dans notre traitement, de nous en tenir à cette situation tout en soulignant que, dans une approche qui n'est pas strictement routière, elle ne correspond qu'à une des différentes situations possibles.
- **La comparaison au point de troncature entre le surcoût de d et le surcoût du temps consacré à une autre opération**. Cette propriété résulte de la comparaison entre $cd'_d(d_{\min})$ et $\min(\delta chd_j(i)/\delta i_j) \forall j$. Si $\forall j \quad cd'_d(d_{\min}) > \min(\delta chd_j(i)/\delta i_j)$ ¹⁵⁰, un *accroissement* des durées de transport pourra être obtenu de manière moins coûteuse en augmentant la durée d'une opération hors déplacement qu'en augmentant les durées de déplacement. Cette propriété peut, en outre, être formulée de deux manières :
 - pour des *modifications marginales*.
 - pour des *modifications non marginales* : cette propriété permet d'éviter les complications analytiques qui peuvent apparaître lorsque les conditions économiques au point de troncature correspondent à une faible pente de la courbe $cd(d)$. Si cette hypothèse n'était pas respectée, il faudrait considérer que l'augmentation des durées de *transport* serait réalisée, tout d'abord en augmentant les durées hors déplacement i_j , jusqu'au point où vaudrait l'égalité $cd'_d(d_{\min}) = \min(\delta chd_j(i)/\delta i_j)$, puis, au-delà de ce point, en augmentant conjointement les durées de déplacement et les durées de l'opération hors déplacement de coût marginal minimal.

En regard de ces différentes propriétés, la description des processus d'arbitrages des transporteurs présente, sauf à considérer que le choix de la chaîne d'opérations est donné a priori, un degré de complexité non négligeable.

Configuration retenue

Analyser les arbitrages des transporteurs dans un contexte marqué par de nombreuses propriétés peut être réalisé de deux manières. Soit en établissant une configuration de référence, invariante, qui se prête alors à un traitement unique. Soit en prenant en compte différentes variantes de ces hypothèses au risque d'aboutir à une arborescence de cas particulier dont il est difficile de faire émerger des conclusions. Nous

¹⁵⁰ Cette écriture vaut en l'absence d'effets croisés.

favorisons une démarche intermédiaire qui panache ces deux approches. On définit ainsi une typologie par rapport à deux propriétés qui ont un statut particulier pour le problème analysé, tandis que l'on s'en tient pour les autres propriétés à une configuration de référence.

Nous donnons ainsi un statut particulier à deux critères :

- **Caractère discrétionnaire ou obligatoire** des opérations hors déplacement de type j'' . Si de telles opérations sont obligatoires, l'arbitrage des transporteurs doit prendre en compte, d'une part, l'existence d'une discontinuité en zéro des coûts de cette opération (ou, en d'autres termes, "un coût d'entrée"), et l'existence d'une portion décroissante des coûts des opérations hors déplacement en fonction de leur durée (convexité de j'').
- Existence d'**effets croisés** des opérations hors déplacement et des opérations de déplacement sur leurs coûts respectifs. En l'absence d'effets croisés, les transporteurs qui maintiendraient une opération hors déplacement de type j'' supporteraient un surcoût sans contrepartie. Ils n'utiliseraient cette opération que si elle était obligatoire. En réalité, l'existence d'effets croisés entre opérations hors déplacement et opérations de déplacement et leurs coûts respectifs justifie, elle aussi, l'utilisation d'opérations hors déplacement de ce type. Ce second critère est retenu lui aussi pour bâtir une typologie.

En croisant ces deux critères, on peut décrire quatre situations qui correspondent à quatre contextes productifs pour les transporteurs. Ces différentes situations sont présentées dans le Tableau 32. Par exemple, on appelle "opérateur logistique contraint" la situation d'un transporteur qui peut faire jouer les effets croisés entre opérations de déplacement et opérations hors déplacement mais qui dans ce processus est contraint par l'existence d'opérations obligatoires de type j'' . On appelle "tractionnaire sans contrainte"¹⁵¹, la situation d'un transporteur qui pourrait être libre de choisir entre opérations hors déplacement mais qui, en l'absence d'effets croisés, n'a pas de raison de recourir à une opération hors déplacement.

Tableau 32 : différents contextes productifs pour les transporteurs, une typologie

	Opérations obligatoires (type j'')	Pas d'opérations obligatoires
Pas d'effet croisé	Tractionnaire sous contrainte	Tractionnaire sans contrainte
Effet croisé	Opérateur logistique contraint	Opérateur logistique optimisateur

Toutefois cette typologie ne concerne que deux des nombreux éléments à prendre en compte pour restituer le contexte dans lequel s'effectuent les arbitrages des transporteurs. Les différents aspects des coûts des opérations hors déplacement à prendre en compte pour décrire les arbitrages des transporteurs ont été listés p. 206 . Pour ceux qui ne sont pas l'objet de notre typologie, on définit une configuration type qui est présentée dans le Tableau 33.

¹⁵¹ On propose aussi l'appellation "Tractionnaire malgré lui" qui traduit l'idée que ce transporteur a le choix d'utiliser des opérations logistiques telles que le stockage, le groupage, etc ; mais qu'il n'est pas en situation de les mettre en œuvre puisque ces opérations impliquent en elles-mêmes un surcoût qui, dans la typologie du tractionnaire, n'est pas compensée par des économies qu'elles permettraient par ailleurs.

Tableau 33 : présentation de la configuration productive retenue pour l'étude du transporteur

	Propriété	Hypothèse retenue
1	Caractère obligatoire ou discrétionnaire	Selon typologie.
2	Existence d'effets croisés	Selon typologie.
3	Séparabilité entre les coûts	On se place dans une situation simplifiée où le coût d'une opération hors déplacement ne dépend pas de la durée des autres opérations hors déplacement.
4	La capacité	On se place dans la situation où le transporteur peut toujours faire appel à un ensemble d'opérations comprenant : - des opérations hors déplacement de coût décroissant puis croissant, et de coût d'entrée non nul (type j''). - des opérations hors déplacement de coût monotone croissant, et de coût d'entrée nul (type j'). - des opérations hors déplacement de coût monotone croissant, et de coût d'entrée non nul (type j'''). La liste précise de ces opérations peut différer entre transporteurs mais les propriétés des opérations restent les mêmes entre transporteurs.
5	Coûts d'entrée	Les transporteurs peuvent avoir recours à des opérations de type j' , de type j'' , de type j''' . Ces deux derniers types ont des coûts d'entrée strictement positifs.
6	Durées minimales contraignantes .	On suppose, par simplification, qu'il n'existe pas de contraintes de durées minimales pour les opérations hors déplacement.
7	Interdépendance	La dépendance entre les différentes opérations hors déplacement (l'opération de stockage nécessite une opération de déchargement et de chargement) peut ne pas être prise en compte explicitement. Par exemple, la dépendance entre les opérations de stockage, déchargement et chargement peut être représentée en rassemblant ces différentes opérations dans une opération composite.
8	Relation entre les durées .	On se place dans la situation simplifiée où la relation entre durées n'est pas explicitée.
9	Conditions économiques au point de troncature	$cd'_d(d_{\min}) > 0$. Si l'on se base sur la situation routière on pourra supposer que les coûts de déplacement sont au point de troncature croissants par rapport aux durées. L'analyse d'autres modes amènera à discuter cette condition.
10	Surcoût comparé d'une durée consacrée au déplacement ou à une opération hors déplacement.	<ul style="list-style-type: none"> • (10a) surcoût comparé pour une modification marginale. • (10b) surcoût comparé pour une modification non marginale. On considère que le classement entre les deux dérivées reste inchangé pour tout l'intervalle de modifications considéré.

On constate à nouveau la multiplicité des éléments qu'il faut spécifier pour rendre opératoire une formalisation des arbitrages des transporteurs concernant le choix des opérations hors déplacement et de leurs durées. Il est probable que chacune de ces propriétés nécessiterait une analyse détaillée. L'importance de ces différentes propriétés apparaît cependant mieux si l'on montre d'abord de quelle manière elles interviennent dans les arbitrages des transporteurs. Aussi nous proposons de différer une discussion sur la pertinence de ces différentes propriétés, en présentant d'abord de quelle manière les transporteurs réalisent leurs arbitrages dans la configuration de référence que nous avons ainsi définie.

Nous avons ainsi présenté une typologie ainsi qu'une configuration de référence par rapport auxquels il devient possible de montrer comment les arbitrages des transporteurs aboutissent à une relation entre le coût des opérations hors déplacement et leur durée.

Construction d'une fonction de coût pour l'ensemble des opérations hors déplacement

On montre tout d'abord comment l'optimisation par le transporteur s'effectue en égalisant le coût marginal de ces différentes opérations hors déplacement.

Conditions marginales

La situation optimale pour les transporteurs peut être décrite par des conditions marginales.

On présente ces conditions marginales pour la typologie du "**tractionnaire sans contrainte**". En l'absence d'effets croisés entre durée de déplacement durée hors déplacement et leurs coûts respectifs, le transporteur minimisera ses coûts, pour toute durée hors déplacement totale $i = \sum_j i_j$, en assurant l'égalité entre les coûts marginaux temporels des différentes opérations hors déplacement utilisées :

$$\delta \text{chd}_j(i_j) / \delta i_j = c, \text{ pour toutes les opérations } j \text{ utilisées, avec :} \quad (5.6)$$

$\text{chd}_j(i_j)$ coût des opérations j hors déplacement
 i_j durée des opérations hors déplacement.
 c constante.

Si cette condition n'était pas vérifiée, il serait plus intéressant pour le transporteur de redistribuer une fraction de la durée hors déplacement totale i , entre les différentes opérations élémentaires i_j , de manière à abaisser les coûts marginaux sans modifier la durée totale i . Par exemple, si l'opération k est caractérisée par $\delta \text{chd}_k(i_k) / \delta i_k < c$, les coûts du transporteur seront diminués (pour une durée hors déplacement totale inchangée) si la durée i_k est augmentée et les autres durées sont diminuées.

Pour un **opérateur logistique optimisateur** ces conditions s'expriment comme :

$$\delta \text{chd}_j(d, i_j) / \delta i_j + \delta \text{cd}(d, i) / \delta d i_j = c, \text{ pour toutes les opérations } j \text{ utilisées.} \quad (5.7)$$

On trouve ainsi des conditions marginales, exprimées par rapport aux durées, qui permettent de rendre compte des arbitrages des transporteurs dans un cas qui se prête convenablement à l'analyse¹⁵².

Ces conditions d'optimalité, présentées ici pour un nombre limité de types de transporteurs, permettent alors de substituer à la juxtaposition des durées hors déplacement et des coûts correspondants, une fonction unique notée $\text{chd}(i)$ (sans indice). Cette fonction intègre le processus d'optimisation sous-jacent aux arbitrages réalisés par les transporteurs.

¹⁵² La présentation de ces conditions marginales est valable pour la configuration que nous avons retenue. On peut sur ce point illustrer ce qu'il advient dans certaines hypothèses alternatives.

Par exemple, si on remet en cause la propriété 4 présentée dans le Tableau 33, on peut prendre en compte l'existence de *contraintes* sur les durées de certaines opérations hors déplacement. On pourra considérer un sous-ensemble de K opérations contraintes par une durée minimale : $i_{j\min} > 0, \forall j = 1, \dots, K$. A l'optimum, dans la situation d'un *tractionnaire*, pour une durée totale i donnée, les opérations hors déplacement utilisées seront soit égales à leur minimum, soit telles qu'elles égalisent les coûts marginaux temporels des différentes opérations hors déplacement.

$\forall j = 1, \dots, K / \delta \text{chd}(i_{j\min}) / \delta i_j > c, i_j^* = i_{j\min}$;
 tandis que pour toutes les autres opérations :

$$\delta \text{chd}(i_j) / \delta i_j = c.$$

Cet exemple illustre comment la prise en compte de propriétés différentes de celles retenues pour caractériser une configuration type peut compliquer la présentation des arbitrages effectués par le transporteur tout en restant dans le cadre des mêmes mécanismes.

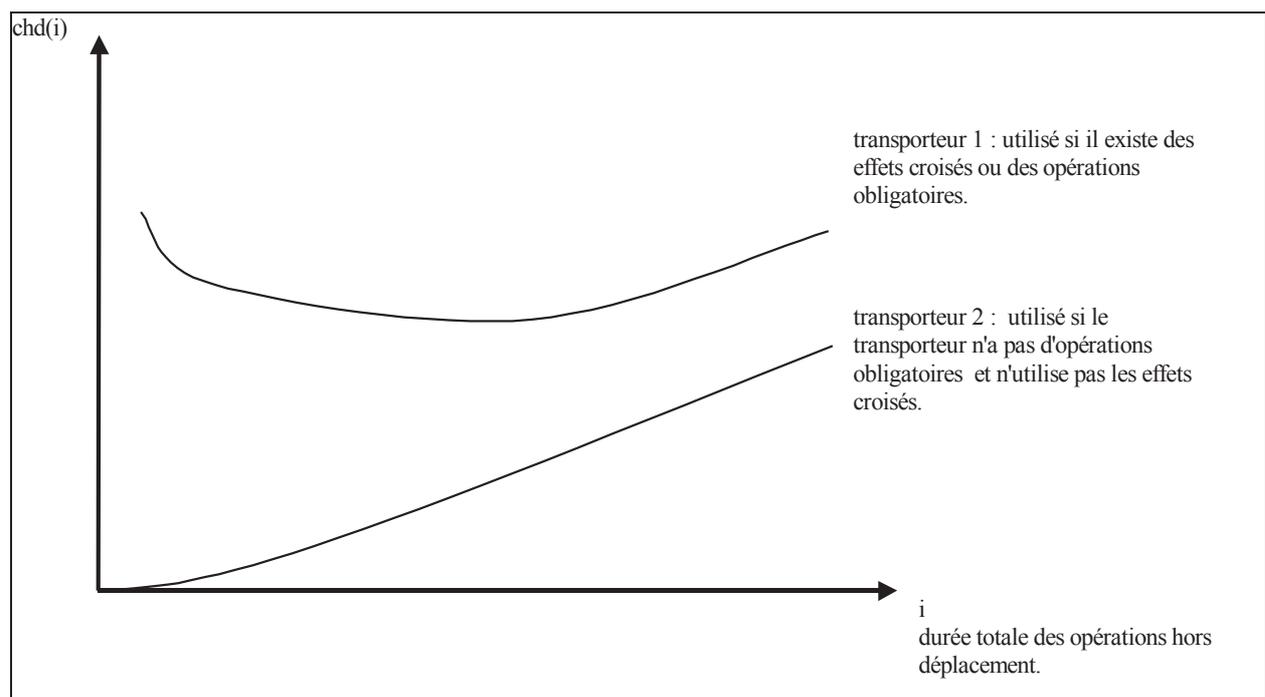
Fonction de coût des opérations hors déplacement d'un transporteur

Sur la base de la formalisation présentée ci-dessus, il est ainsi possible de représenter, au moyen d'une fonction unique, comment le coût total de toutes les opérations hors déplacement varie en fonction de la durée totale des opérations hors déplacement. Cette relation, notée $chd(i)$, synthétise les différentes courbes $chd_j(i_j)$ quand est respectée la condition d'optimisation $\delta chd / \delta i_j = c$ pour toutes les opérations j utilisées. Cette courbe pourra avoir différents aspects dont certains sont représentés sur la Figure 20.

Par exemple le **transporteur 1** utilise au moins une opération de type j'' ce qui introduit une convexité dans la fonction de coût des opérations hors déplacement. Ce transporteur peut, en outre, utiliser des opérations de type j''' (le coût d'entrée de telles opérations déplace la courbe de coût du transporteur 1 vers le haut) et des opérations de type j' . Le coût de ces opérations pourra augmenter, en fonction des durées, dans la partie croissante de la courbe de coût. Un autre exemple est celui du **transporteur 2** qui n'utilise quant à lui que des opérations de type j' . Cette courbe aura un aspect monotone croissant et sera continue en 0.

Dans les deux situations considérées sur la Figure 20, la courbe $chd(i)$ représente le niveau des coûts hors déplacement lorsque le transporteur, ayant choisi les opérations hors déplacement qu'il utilise, arbitre en respectant les conditions marginales temporelles.

Figure 20 : coût total des opérations sans déplacement en fonction de la durée totale sans déplacement : deux situations typiques



Ainsi que l'illustre la Figure 20, il est possible, pour différentes typologies de transporteur, de construire une courbe de coût des opérations hors déplacement en fonction de la durée qui est consacrée à la totalité de ces opérations.

Nous disposons donc à ce stade de deux éléments :

- une fonction de coût de déplacement en fonction des durées de déplacement, qui a été analysée dans la section précédente
- une fonction de coût hors déplacement en fonction des durées hors déplacement, que nous venons de mettre en évidence.

Or, ces deux éléments doivent être combinés pour pouvoir rendre compte de la relation entre durées de transport et coûts de transport. En effet, ce qui est important pour les *chargeurs* qui confient leurs

marchandises aux transporteurs, sont le coût et la durée de *transport* indépendamment de la manière dont ceux-ci se répartissent entre *opérations de déplacement* et *opérations hors déplacement*, cette répartition n'étant qu'un arbitrage interne du producteur du service de transport. Ce qui importe alors est d'établir comment les arbitrages des transporteurs aboutiront à la formation d'une courbe de coût de production du transport qui pour chaque durée de *transport* minimise les coûts. C'est cette fonction qu'il nous faut maintenant étudier.

1.3 Fonction de coût de production du transport $cpt(t)$: enveloppe des coûts de déplacement et des coûts hors déplacement

On souhaite définir la fonction $cpt(t)$: *coût de production du transport en fonction de la durée de transport*, qui "assemble" les durées consacrées aux déplacements et aux opérations hors déplacement.

Notre analyse procède en deux étapes. Tout d'abord on montre comment la fonction de coûts de transport peut être définie dans les différentes configurations productives que nous avons distinguées. Ensuite, on tire certaines conclusions nécessaires à la poursuite de notre analyse.

Le coût de déplacement pour différentes configurations productives des transporteurs

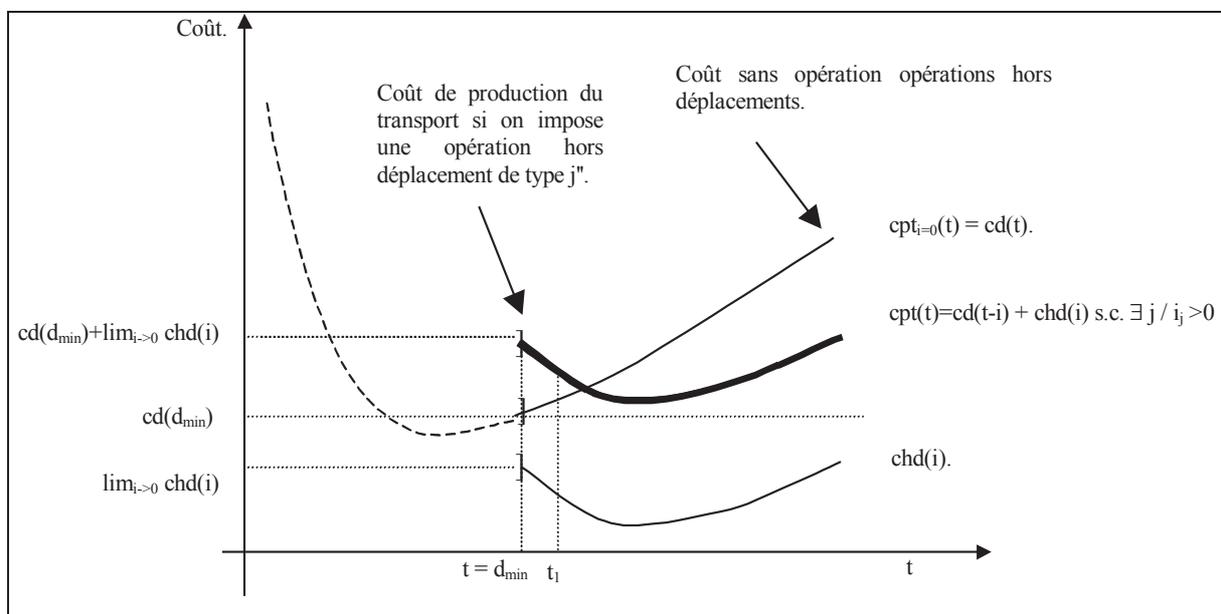
On examine successivement les différentes situations proposées dans la typologie que nous avons introduite précédemment (Tableau 32).

Le tractionnaire contraint

On examine, tout d'abord, la situation d'un tractionnaire contraint. Cette situation implique tout d'abord que le transporteur ne peut pas utiliser des effets croisés entre durées des opérations hors déplacement, durées des opérations de déplacement et leurs coûts respectifs (situation décrite par l'équation (5.3)). Elle implique également que le tractionnaire est contraint de réaliser certaines opérations hors déplacement ayant un coût d'entrée non nul et présentant une convexité (type j'').

On trace sur la Figure 21, dans le repère $(t, \text{cpt}(t))$, la courbe de $\text{cd}(t)$ qui représente les coûts de déplacement si l'on contraint le camion à se déplacer sur toute la durée de la prestation de transport. $\text{cd}(t)$ représente $\text{cpt}(t)$ sous contrainte $d = t$ (ou, c'est équivalent, $i_j = 0 \forall j$). La question qui se pose est alors de savoir comment se situe la courbe $\text{cpt}(t)$ par rapport à la courbe $\text{cd}(t)$, c'est-à-dire de quelle manière l'introduction d'opérations hors déplacement permet d'obtenir une courbe de coût de production du transport différente de celle qui résulterait d'une activité passée entièrement en déplacement. On représente également la courbe représentant $\text{chd}(i)$, fonction de coût hors déplacement, dans un repère dont l'origine est placée au point d_{\min} . Cette fonction de coût hors déplacement incorpore au moins une opération dont la fonction de coût est décroissante puis croissante (type j''). Si une opération de type j'' est obligatoire (tractionnaire contraint) et si l'on suppose, comme cela est représenté sur le graphique, que $\delta \text{cd} / \delta d \geq \delta \text{chd} / \delta i_j \forall i_j > 0$ et $\forall d > d_{\min}$ (cela correspond à la propriété (10b) de la configuration étudiée), alors la solution de coût minimal pour réaliser toute durée de transport t ($t > d_{\min}$) correspondra à une durée de déplacement $d = d_{\min}$ et à une durée hors déplacement $i = t - d_{\min}$. Par exemple, au point t_1 , il serait plus économique pour le transporteur de n'utiliser que des opérations de déplacement mais, comme il est contraint de réaliser au moins une opération hors déplacement de type j'' , il ne peut pas se placer sur la courbe $\text{cd}(t)$ et doit se placer sur la courbe $\text{cpt}(t)$. Sur la Figure 21 on représente par un trait épais la courbe $\text{cpt}(t)$ de coût de production du transport qui résulte de l'addition des coûts des opérations hors déplacement et des opérations en déplacement et représente finalement la relation entre durée de transport et coût de transport pour un tractionnaire contraint.

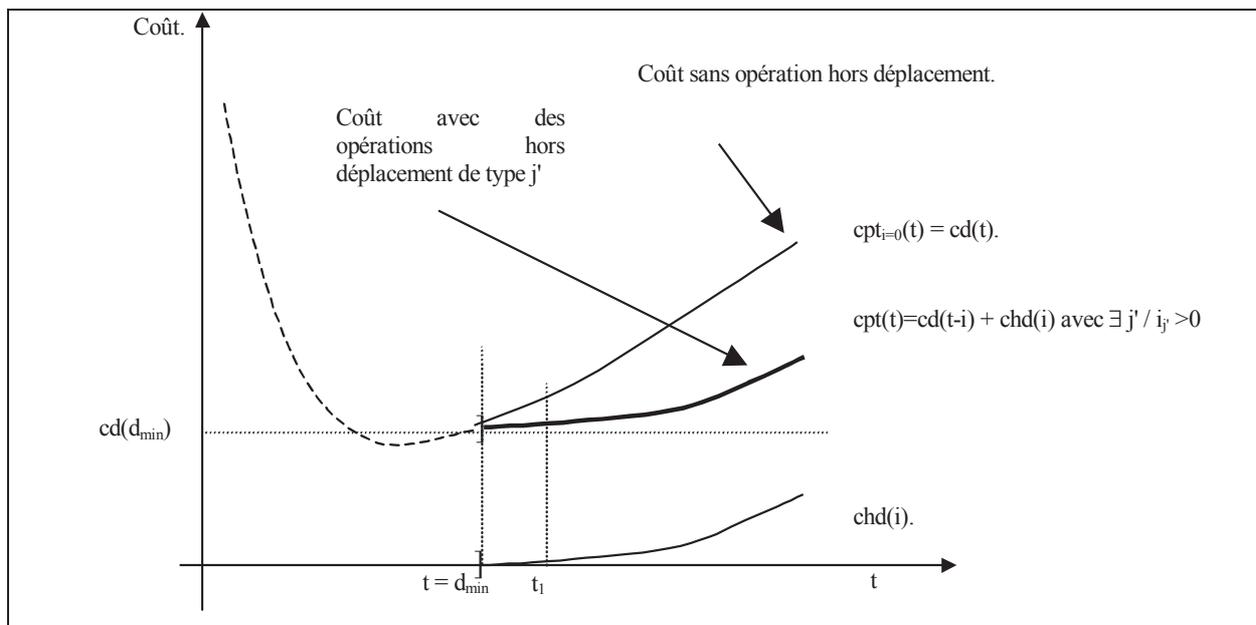
Figure 21 : coût de production du transport en fonction des durées de transport (avec opération obligatoire -tractionnaire contraint)



Le tractionnaire sans contrainte

Qu'en est-il si l'on se place dans la situation où il n'existe pas d'opération obligatoire de type j'' et où il n'y a pas d'effets croisés. Dans cette situation, le transporteur peut exclure a priori certaines opérations : toutes celles dont le coût d'entrée est strictement positif (j'' et j'''). La courbe de coût des opérations hors déplacement prendra alors l'aspect d'une courbe monotone croissante. Cette situation est représentée sur la Figure 22 par la courbe $chd(i)$.

Figure 22 : coût de production du transport en fonction des durées de transport (sans opération obligatoire – tractionnaire sans contrainte)



On note que cette solution est contingente à la configuration type que nous avons retenue. Notamment la comparaison entre les pentes de $cd(d)$ et $chd(i)$ au point de troncature de la courbe $cd(d)$ est déterminante (propriétés 9, 10a et 10b). Si ces conditions sont inversées, il sera moins coûteux pour le transporteur d'augmenter sa durée de déplacement que d'augmenter la durée des opérations hors déplacement.

Au final, les deux situations que nous avons distinguées sous le nom de "tractionnaire contraint" et de "tractionnaire sans contrainte" aboutissent, dans la configuration retenue pour notre analyse (particulièrement importante est la propriété 10b), à une courbe de coût de production du transporteur où les durées de déplacement seront à leur minimum, toute durée supplémentaire étant utilisée pour des opérations hors déplacement.

La situation sera différente si l'on considère les effets croisés des durées de déplacement et des durées hors déplacement sur leurs coûts respectifs.

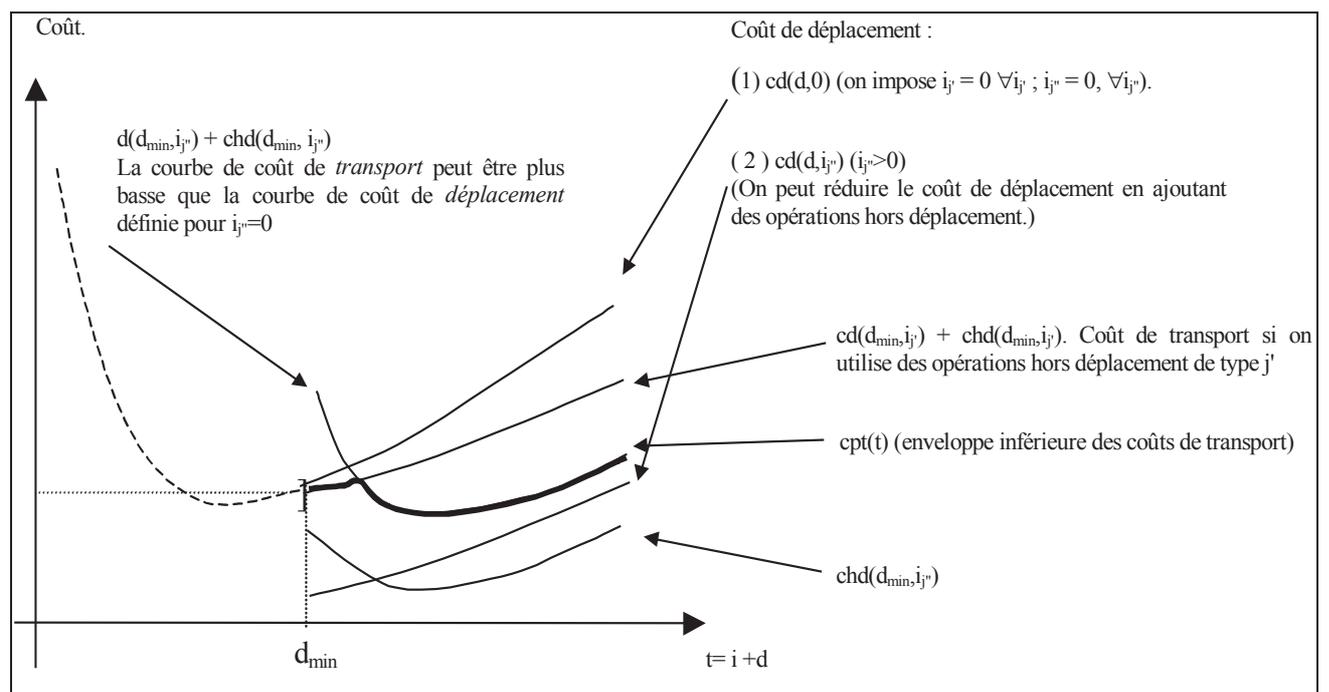
Opérateur logistique optimisateur

Les arbitrages deviennent alors un peu plus complexes. On se place dans la situation où le transporteur peut utiliser une opération hors déplacement de coût d'entrée nul (de type j') et une opération hors déplacement de type j'' (coût d'entrée strictement positif, coût décroissant puis croissant en fonction des durées). Les arbitrages du producteur peuvent s'exprimer en termes de choix entre trois technologies¹⁵³.

- La technologie utilisant uniquement du déplacement,
- La technologie utilisant du déplacement et des opérations de type j' ,
- La technologie utilisant du déplacement et des opérations de type j'' .

Cette situation est présentée sur la Figure 23. Comme on le constate graphiquement, dans la configuration d'étude retenue, la première technologie sera dominée par les autres (importance des propriétés 10 a et 10b), tandis que le classement entre les deux autres technologies dépendra de la durée totale consacrée au transport. Si la durée de transport est trop courte pour mettre en œuvre, à coût réduit l'opération hors déplacement de type j'' , il sera plus préférable pour le transporteur de s'en tenir à une opération de type j' . L'enveloppe correspondant à ce choix technologique est représentée sur la Figure 23 par une courbe épaisse.

Figure 23 : coût de production du transport en fonction des durées de déplacement et des durées de transport (optimisation par un opérateur logistique)



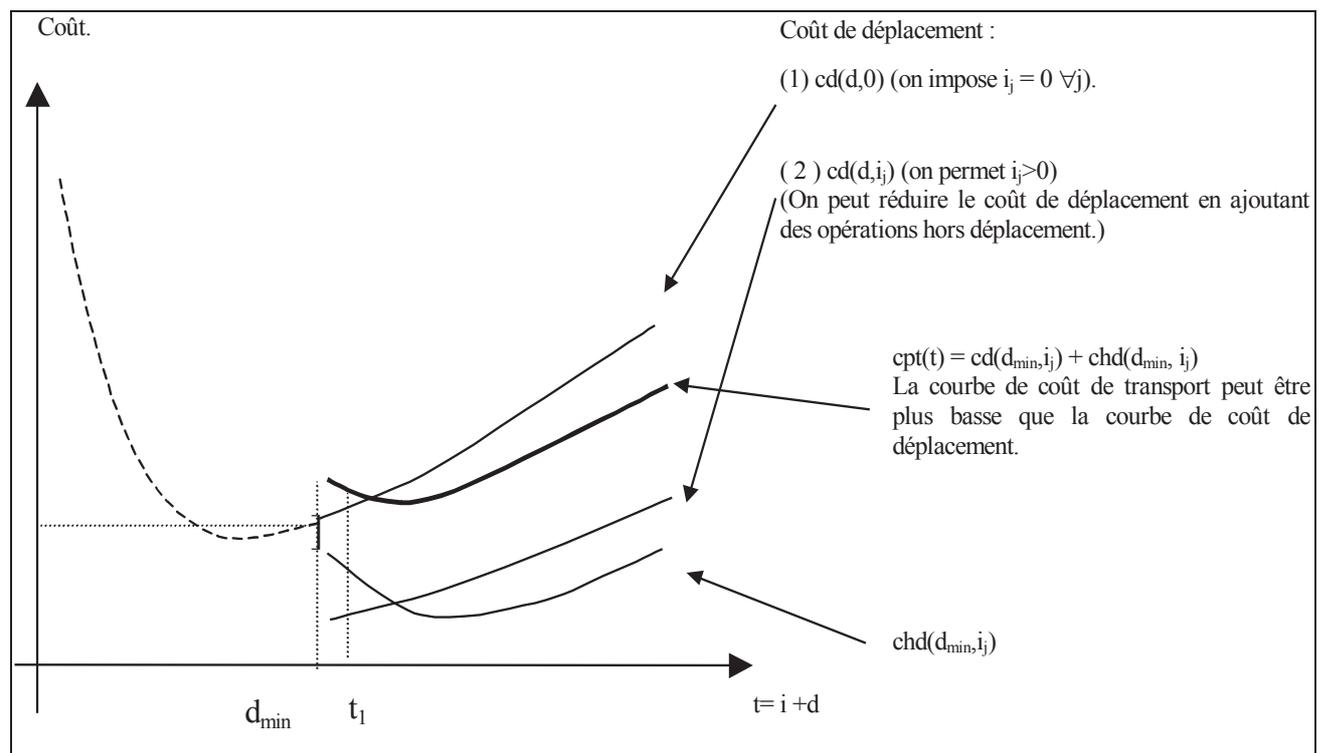
On note que l'enveloppe inférieure des coûts de déplacement peut présenter un coude lorsque la technologie qui n'utilise que des opérations de type j' est la plus économique pour des durées de transport faible (cela implique, par exemple, qu'une opération de stockage intermédiaire peut être insérée de manière économique dans une chaîne d'opérations seulement si l'on dispose du temps nécessaire). On pourra également avoir des situations (non représentée sur la Figure 23) où la courbe $cd(d_{\min}; i_{j''}) + chd(d_{\min}; i_{j''})$ sera située en dessous de la courbe $cd(d_{\min}; i_{j'}) + chd(d_{\min}; i_{j'})$. Dans de telles situations, la courbe $cpt(t)$ ne présentera pas de coude, la technologie utilisant des opérations j'' , sera supérieure (moins coûteuse) que les autres pour toute valeur de t .

¹⁵³ On ne prend pas en compte les technologies qui panacheraient des opérations de type j' et j'' .

Opérateur logistique contraint

Enfin, le quatrième des types de transporteur que nous avons distingués correspond à une situation où la réalisation d'une opération hors déplacement de type j'' est obligatoire. Cette situation est représentée sur la Figure 24. Dans cette situation, le choix entre une technologie utilisant des opérations de type j'' et celles ne les utilisant pas, n'existe pas puisqu'une opération de type j'' est obligatoire. Dès lors, on peut raisonner par rapport à une unique courbe de coût des opérations hors déplacement $chd(i)$. En outre, l'opérateur est contraint de se positionner sur cette courbe, même dans les situations où l'utilisation en temps de déplacement de l'ensemble du temps de transport serait plus économique. Au point t_1 représenté sur la Figure 24, l'opérateur logistique contraint, est obligé d'utiliser au moins une opération hors déplacement de type j'' et de se placer sur la courbe indiquée en gras.

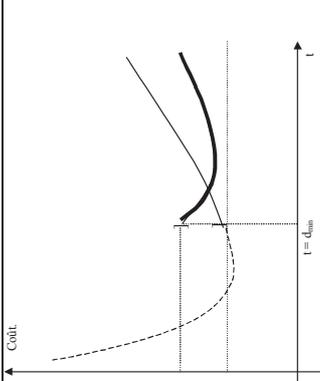
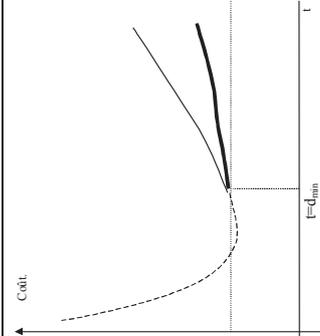
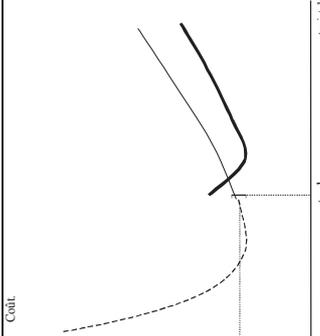
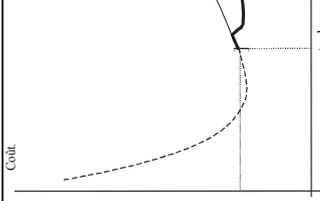
Figure 24 : coût de production du transport en fonction des durées de déplacement et des durées de transport (optimisation par un opérateur logistique contraint)



On constate ainsi que la construction d'une courbe de coûts de transport en fonction des durées de transport fait apparaître, lorsque l'on veut prendre en compte explicitement le rôle des durées hors déplacement, l'importance du contexte productif des transporteurs. Nous pouvons, dans le Tableau 34, synthétiser de quelle manière ces différents contextes productifs impliquent des arbitrages différents et, de manière plus générale, une relation différente entre durée de transport et coût de transport. Dans ce tableau, on présente pour les quatre configurations productives retenues :

- l'allure différente de la courbe de coût de production du transport en fonction de la durée de transport : $cpt(t)$;
- le programme de minimisation des coûts qui permet l'arbitrage entre les durées consacrées aux différentes opérations.

Tableau 34 : typologie des transporteurs et coût marginal temporel

		Effet croisé	
		Pas d'effet croisé	
		Opérations obligatoires	
		Pas d'opérations obligatoires	
		Opérations logistique contraint	
		Opérateur logistique optimisateur	
Typologie		Pas d'opérations obligatoires	
		Tractionnaire sans contrainte	
Aspect de la courbe $cpt(t)$			
Minimisation du coût :		<p>(5.8)</p> $cpt(t) = \min_{i_1, \dots, i_J} \left(cd(t - \sum_{j=1}^J i_j) + \sum_{j=1}^J chd_j(i_j) \right)$ <p>sc : $i_j > 0 \forall j \in (1, \dots, J)$</p>	<p>(5.9)</p> $cpt(t) = \min_{i_1, \dots, i_J} \left(cd(t - \sum_{j=1}^J i_j) + \sum_{j=1}^J chd_j(i_j) \right)$
			
		<p>(5.10)</p> $cpt(t) = \min_{i_1, \dots, i_J} \left(cd \left(t - \sum_{j=1}^J i_j; (i) \right) + \sum_{j=1}^J chd_j \left(t - \sum_{j=1}^J i_j; i_j \right) \right)$ <p>sc : $i_j > 0 \forall j \in (1, \dots, J)$</p>	<p>(5.11)</p> $cpt(t) = \min_{i_1, \dots, i_J} \left(cd \left(t - \sum_{j=1}^J i_j; (i) \right) + \sum_{j=1}^J chd_j \left(t - \sum_{j=1}^J i_j; i_j \right) \right)$

On présente ainsi comment, dans un contexte productif de référence, en distinguant quatre types de transporteurs, les arbitrages des transporteurs aboutissent à la définition d'une courbe de coût de production du transport en fonction des durées de transport. Les différents types de transporteurs sont définis par rapport à deux critères : la discrétionnalité des opérations et l'existence d'effets croisés entre durées de déplacement, durées hors déplacement et les coûts correspondants. Ils sont définis pour les autres critères d'arbitrages par rapport à une configuration de référence.

Conclusion

Cette présentation appelle à trois compléments. Il s'agit tout d'abord d'envisager dans quelle mesure la configuration de référence que nous avons choisie pour construire ces courbes est représentative de la situation des transporteurs. Ensuite, il faut analyser le poids que peuvent avoir les quatre "types" que nous avons envisagés. Il s'agit enfin de montrer comment toutes ces configurations se rejoignent pour suggérer que la courbe de coût de production du transport est *adossée* à la courbe de coût de déplacement. Enfin un quatrième point consiste à souligner la présence *d'hétérogénéité* au sein des fonctions de coût de production des transporteurs.

Pertinence de la configuration retenue

Les propriétés que nous avons retenues pour définir la configuration de référence peuvent, maintenant que nous leur avons prêté un sens par rapport aux arbitrages des transporteurs, être commentées de manière plus détaillée.

Notamment l'importance des propriétés 10a et 10b (coût additionnel de la durée d'une opération hors déplacement inférieur à celui d'une opération de déplacement) nous est apparue à plusieurs reprises. Si ces propriétés ne sont pas respectées, les arbitrages du transporteur aboutissent à allonger les durées de déplacement plutôt que d'insérer des opérations hors déplacement dans la chaîne des opérations. Cette propriété apparaît ainsi fondamentale pour décrire les arbitrages des transporteurs. Elle apparaît également, en l'absence d'éléments quantitatifs pour la valider ou l'infirmer, hautement probable dans le cadre du transport routier. De manière empirique, si elle était erronée, on observerait des véhicules réduire leur vitesse lors de leur trajet, car cela leur coûterait moins cher que d'avoir à attendre à l'arrivée à destination... Reste que dans les modes non routiers cette propriété, ainsi que la propriété 9 (coût marginal temporel positif pour les déplacements) qui la sous-tend peuvent être remise en cause. Les éléments qui nous avons présentés dans le chapitre 4 (p. 87 et suivantes) concernant le mode ferroviaire suggèrent ainsi que, pour des vitesses courantes, on peut observer une relation décroissante entre durée de déplacement et coût de déplacement (et donc un surcoût pour une diminution des durées de déplacement). Dès lors, pour des durées supérieures à d_{\min} , le coût minimal de déplacement pourra être obtenu en augmentant la durée de déplacement plutôt que la durée d'une opération hors déplacement.

On souligne le rôle essentiel des propriétés 9, 10a et 10b. Qu'en est-il pour les autres ? Un nombre important d'entre elles apparaissent comme des simplifications (propriétés 3; 6; 8; 7). Par exemple, concernant la propriété 6, on peut supposer que, dans la réalité, il existera des durées minimales contraignantes pour certaines opérations. On pourra aussi rencontrer des situations où la durée d'une opération est exogène pour le transporteur ; en d'autres termes le transporteur ne peut pas se positionner sur une courbe de coût en fonction des durées. Au final, l'ensemble de ces propriétés apparaissent comme des simplifications. Déterminer dans quelle mesure ces simplifications dénaturent la description des arbitrages effectués par les transporteurs apparaît comme une des prochaines étapes à réaliser dans l'analyse de la relation entre durées de déplacement et coûts de déplacement. Nous avons préféré différer cette étape à des travaux ultérieurs et utiliser pour la suite de ce travail les résultats que nous avons établis pour une configuration de référence.

Poids des différentes typologies

Si l'on s'en tient à cette configuration de référence on doit alors se demander quel poids attribuer aux différents types que nous avons distingués à l'intérieur de celle-ci. Sur ce point trois éléments doivent être pris en compte.

D'une part, **l'existence d'opérations hors déplacement obligatoires** est probablement inhérente à toutes les prestations de transport, mais il est malaisé de déterminer si elles appartiennent au type j'' . A minima, les opérations de chargement et de déchargement terminaux sont constitutives de la prestation. Mais le caractère obligatoire de telles opérations n'aboutit pas nécessairement à des conclusions clairement tranchées, parce que l'on ne dispose que de peu d'éléments pour déterminer si ces opérations sont de type j'' ou de type j''' . La possibilité technique de réduire les durées de chargement en supportant le coût de ces techniques (partie décroissante de la courbe de coût de l'opération de type j'') existe, mais la difficulté est que pour les chargements et déchargements terminaux la mise en œuvre de ces technologies ressortit à des choix déjà effectués par les expéditeurs ou destinataires des marchandises. Ainsi l'existence d'opérations de chargement et de déchargements terminaux immanentes à la prestation de transport ne fournit que des éléments fragiles en faveur de l'une des typologies.

D'autre part, **concernant l'existence d'effets croisés**, on est plus enclin à se prononcer en faveur de certaines typologies. De tels effets sont en effet susceptibles de recueillir de nombreux phénomènes : conséquence du choix de réaliser une opération hors déplacement sur la distance à parcourir ; prise en compte des possibilités de groupage (la durée passée dans des opérations hors déplacement permettant de consolider les envois). La typologie du tractionnaire, qui exclut de tels phénomènes n'a, semble-t-il, qu'une valeur analytique ; elle permet de mettre en évidence certains mécanismes, en en plaçant certains autres, temporairement, en retrait.

Un troisième élément invite à arbitrer entre ces différentes typologies. En l'absence d'opération obligatoire de type j'' , la courbe de coût de production des transporteurs est monotone croissante (du moins pour un certain intervalle de durées). Cela implique que dans ces configurations, et sauf distorsions particulières qu'il faudrait alors expliciter, le prix d'un transport rapide sur le marché sera inférieur au prix d'un transport lent. Cela est vrai dans le cas du "tractionnaire malgré lui" pour toute durée t et, dans le cas de l'opérateur logistique optimisateur, pour celles des durées de transport qui sont insuffisantes pour justifier la mise en œuvre d'une opération hors déplacement (durées situées à gauche du coude sur la courbe $cpt(t)$ représentée sur la Figure 23). Ces éléments entrent en conflit avec le constat heuristique selon lequel le prix d'une prestation de transport rapide est en général supérieur, ceteris paribus, au prix d'une prestation de transport lente.

Le poids à accorder aux différentes configurations productives que nous avons définies nous amène à ne donner qu'une valeur analytique ou didactique à la situation décrite sous le nom de "tractionnaire". On retiendra que nous disposons d'une formalisation qui permet, pour certaines configurations, de représenter la relation entre durée de transport et coûts de transport par une courbe convexe, et que cette formalisation est dès lors compatible avec l'observation selon laquelle un transport rapide est, du moins pour un certain intervalle de durées, plus coûteux qu'un transport lent. Ces éléments nous invitent, pour la suite de cette analyse, à ne pas exclure la possibilité de relation non convexe entre durées de transport et coût de transport mais à donner à cette situation un poids inférieur à celle représentée par une fonction convexe.

Au-delà des diversités ainsi soulignées, les différentes typologies étudiées, se rejoignent dans un élément commun qu'il faut maintenant présenter.

Une fonction de coût de production du transport, "adossée" aux coûts de déplacement

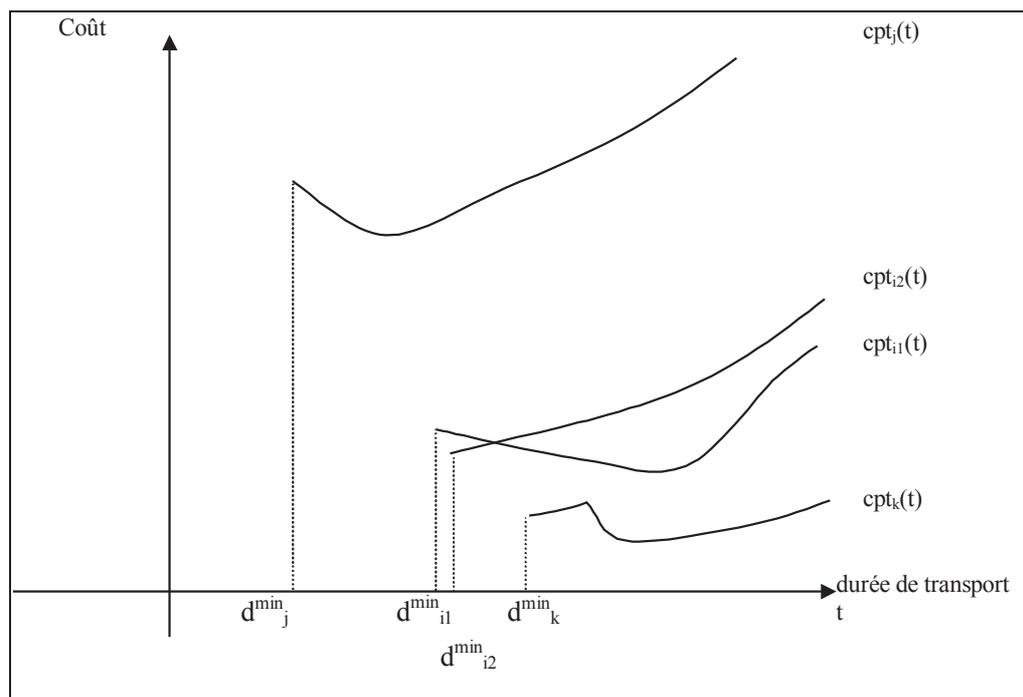
Le point important est que le processus d'arbitrage des transporteurs aboutit à une courbe de *coût de production du transport en fonction des durées de transport* ($cpt(t)$), qui est "adossée" au point de troncature de la courbe de coût de déplacement en fonction des durées de déplacement ($cd(d)$)¹⁵⁴. Dans la configuration de référence que nous avons retenue, et pour l'ensemble des typologies que nous avons distinguées à l'intérieur de celle-ci, les durées de déplacement sont portées à leur minimum, tandis que l'objet unique de l'arbitrage du transporteur concerne le choix des opérations hors déplacement et des durées à leur consacrer. Nous privilégions alors, pour la suite de l'analyse, une hypothèse principale basée sur une représentation **des coûts de transport sous la forme d'une courbe convexe adossée au point de troncature de la courbe de déplacement**. Cette hypothèse pourra être complétée par la prise en compte d'autres situations présentées dans notre typologie.

La présentation que nous avons effectuée amène à un dernier complément. Elle permet de restituer une hétérogénéité qui dépend d'une typologie de transporteurs. Cela nous invite à introduire la notion d'hétérogénéité des coûts de production des transporteurs.

Éléments sur l'hétérogénéité des fonctions de coûts de production des transporteurs

On propose, à titre *illustratif*, une représentation de la diversité des fonctions de coûts de transporteurs sur la Figure 25. Sur cette figure sont reportées plusieurs courbes de coût de production des transporteurs en fonction des durées de transport. Ces courbes sont distinctes les unes des autres en fonction de l'appartenance d'un transporteur à un des quatre types que nous avons distingués dans notre typologie et, à l'intérieur de chacun des ces types, en fonction de paramètres qui diffèrent. Ces paramètres (que l'on pourra aussi désigner sous le nom anglais de "*cost shifters*") pourront être liés, par exemple, à la différence de mode. Ils pourront aussi être liés, au sein de chaque mode, à des différences entre transporteurs dues à des raisons technologiques (organisation plus ou moins efficiente d'un service de messagerie) ou à un avantage compétitif (le pavillon sous lequel le transporteur opère ou encore sa propension à la fraude.) Ces *costs shifter* peuvent également être liés à des caractéristiques spatiales de l'activité. Par exemple, la localisation des établissements du transporteur, qui peut être plus moins proche des chargeurs auxquels il vend ses prestations, peut influencer les conditions économiques de son offre.

¹⁵⁴ La notion de courbe $ct(t)$ adossée au point $cd(d_{\min})$ retranscrit deux propriétés. Tout d'abord, la courbe $ct(t)$ n'est définie que pour $t > d_{\min}$; ensuite, $ct(d_{\min})$ est supérieur ou égal à $cd(d_{\min})$.

Figure 25 : diversité des fonctions de coût entre modes et entre transporteurs (modes i,j,k)

Cette hétérogénéité devra être prise en compte dans la suite des développements si l'on souhaite fournir une approche réaliste de l'équilibre sur le marché des transports.

Mais, avant d'examiner les problématiques de l'équilibre, il est nécessaire d'analyser le rôle des durées de transport de l'autre côté du marché c'est-à-dire pour les producteurs. Qu'en est-il ? Si l'on a l'habitude de considérer que le temps de transport a un coût parce que la formalisation en est immédiate ou parce que l'on peut facilement en faire l'expérience, il est moins direct de considérer que les autres biens et services ont un coût de production qui dépend de leur durée de production. Nous devons maintenant examiner ce point.

* *

*

2 Les coûts des producteurs dépendent des durées

Les producteurs ont des coûts variables en fonction des durées. Le chapitre 2 nous a montré de quelle manière les durées de **transport** ont des effets sur les coûts de chargeurs. On reprend tout d'abord ces éléments. Dans un second temps, les coûts des producteurs dépendent également des durées de **production**. On établit par quelle relation ce phénomène est pertinent pour analyser l'effet des durées de transport. Ici encore, une telle analyse doit en revenir à la distinction entre les produits "génériques" et les produits "spécifiques" ¹⁵⁵.

¹⁵⁵ On pourrait également s'intéresser à des situations intermédiaires ou mixtes dans lesquelles les inputs peuvent être de nature différente des outputs (inputs génériques, outputs spécifiques ou l'inverse). Ces situations pourront être étudiées en prolongement du présent travail.

2.1 Coûts dépendant des durées de transport : un rappel

Les chargeurs supportent des coûts liés au temps de transport indépendamment du prix qu'ils ont à payer pour le service de transport. Sur ce point on peut reprendre les éléments mis en lumière dans le chapitre 2 :

- Coût d'immobilisation : les encours de production représentent une immobilisation qui fait supporter des coûts financiers.
- Modification des caractéristiques physiques des biens (par exemple : biens périssables).
- Effet des durées sur le stock optimal.

L'effet de ces différents coûts sera distinct selon le contexte productif dans lequel se situe l'entreprise. A minima, il est nécessaire, pour définir ce contexte productif, de prendre en compte :

- Le caractère prévisible de la demande. Si la demande du bien est prévisible la stratégie de stock optimal du producteur devient une stratégie de coût minimal, puisque le producteur n'a pas à se couvrir contre le risque de rupture de stock. Si le bien est spécifique, la notion de caractère prévisible perd de son pouvoir explicatif, le producteur peut certes désirer savoir combien il doit produire pour les périodes futures, mais cela ne lui permet pas d'anticiper la production tant qu'il ne sait pas quelles variétés il doit effectivement produire.
- Le caractère périssable du bien. Cet élément est le plus évident si le bien change de qualités physiques au cours du temps, le producteur doit intégrer dans ces arbitrages les modifications de valeur monétaire que cela peut amener.

Ces éléments sont connus et ont été présentés dans le chapitre 2, nous ne nous attarderons donc pas plus dessus.

Examinons maintenant de quelle manière les durées de *production* influent sur les coûts des producteurs.

2.2 Coûts dépendant des durées de production

"En fait toute production prend du temps^{xcii}" nous rappelle Ragnar Frisch [1965, p. 29]. De manière la plus générale les coûts de production peuvent varier en fonction de la date du début et de la fin de la production. Cela donne lieu à une fonction de coût de production dépendant de ces deux dates. Une hypothèse plus restrictive, mais aussi plus aisée à manipuler, et à laquelle nous nous tiendrons ici, est de considérer que les coûts de production ne dépendent que de la durée de production. On simplifie ainsi une fonction du couple (date de fin ; date de début) à une fonction de la différence (date de fin - date de début). A moins qu'une spécification en termes de date ne soit indispensable, on s'en tiendra à cette représentation du coût en fonction de la durée¹⁵⁶.

¹⁵⁶ Une analyse du rôle du temps dans la production a été faite par Winston [1982]. Toutefois l'analyse de Gordon Winston est un peu différente par son but. Il s'agit pour lui d'intégrer dans l'analyse économique la décomposition du temps conçu à une échelle macro en un temps conçu à une échelle micro. Concrètement si une entreprise doit produire X unités dans l'année, comment doit-elle déterminer le nombre optimal d'heures de production chaque jour ? Typiquement cette durée quotidienne optimale est déterminée par deux éléments qui agissent en sens contraire : la recherche d'une utilisation maximale du capital d'une part, et les rigidités de l'offre de travail (surcoût du travail de nuit et des heures supplémentaires), d'autre part. L'analyse de Winston ne s'attache pas à déterminer la durée optimale d'un cycle de production mais à rechercher – par exemple- le nombre d'heures où l'entreprise doit fonctionner chaque jour.

Un point commun nous relie toutefois à l'analyse de Winston (pp. 79 à 82) lorsque celui-ci établit un taux de production (nombre d'unités de bien produites par unité de temps) optimal c'est-à-dire qui minimise les coûts unitaires. Dès lors, toute variation du taux de production optimal augmente les coûts de production de l'entreprise.

Le lien avec les durées de transport est que si les producteurs n'avaient pas des coûts de production variables en fonction des durées de production, ils n'utiliseraient pas un service de transport rapide et coûteux : ils pourraient au contraire toujours utiliser le service de coût minimal, et anticiper l'achèvement de leur production¹⁵⁷, sans que leurs clients n'aient à subir de délais dans la livraison de leur bien. De ce fait si l'on souhaite comprendre correctement les arbitrages du producteur par rapport aux durées de transport, on ne peut pas faire l'économie d'une analyse de la manière dont la durée qu'ils peuvent "gagner" en achetant un service de transport rapide ne pourrait pas être "gagnée" en supportant un autre coût, celui d'un achèvement plus précoce de la production. Il existe une formulation tentante (mais aussi partiellement trompeuse) à ce type d'arbitrage. En général les fonctions de coût de production microéconomiques sont définies implicitement par rapport à une unité de temps. Ainsi que la rappelle Jevons dans sa *Theory of Political Economics* : "c'est le flux d'offre, le flux de production, et le flux de consommation par unité de temps qui doivent réellement être l'objet de notre analyse"^{xciiii} (Jevons [1924], p. 65).

Le coût de production de 1000 unités est le coût de 1000 unités par jour, par mois ou par an. Dès lors si les coûts sont définis par rapport un à "flux" de production (nombre d'unités produites / unité de temps), la modification des durées de production revient à une modification du "flux" de production. Prenons l'exemple de la fonction de coût d'une raffinerie estimée par Griffin [1972]. La courbe a une forme en U. Cela implique que lorsque la raffinerie est dans la partie croissante de sa fonction de coût, il existe une possibilité de réduire les coûts moyens en allongeant la durée nécessaire à la production et en diminuant dans la même proportion la production journalière. Ce résultat séduisant, immédiat, ne résout qu'en partie notre problème, comme nous allons le voir maintenant.

Deux notions différentes de durée de production

On est en fait amené à distinguer deux notions différentes de durée de production. Soit on se réfère à l'**intervalle** de temps qui s'écoule entre la production de deux unités successives (ou encore à la fréquence de production ; ou bien à l'inverse de ces mesures : débit, rythme de production, ou encore, pour prendre un terme plus proche de l'anglais, taux de production) ; soit on se réfère à la **durée qui s'écoule entre le début et la fin de la mise en production d'une unité**¹⁵⁸. On retrouve alors les notions présentes dans l'analyse logistique de "Lean time" ou de "Order To Production", ou encore de "manufacturing cycle"¹⁵⁹. Or, comme le montre la Figure 26 l'*intervalle* de temps entre chaque unité produite ne détermine pas de manière univoque la *durée* de production. Cette figure illustre que l'expression "*raccourcir les durées de production*" peut avoir deux significations. Soit on maintient constant l'intervalle entre unités de production mais on augmente la vitesse de production (représentée par la pente des segments), soit on maintient la vitesse, mais on diminue l'intervalle de production (on augmente la fréquence).

Dans le second cas (colonne de droite), la détermination de la durée optimale de production est assez facile à résoudre. Les modifications de durées de production peuvent s'analyser comme des modifications des quantités produites (nombre d'unités produites par unité de temps). S'il existe un y^* qui minimise les coûts de production, alors y^* est un flux optimal de production (nombre d'unités de produit par unité de temps) et $1/y^*$ est un intervalle optimal de production (durée qui s'écoule entre l'achèvement de chaque

Malgré cette différence importante, les deux approches ne diffèrent pas sur l'essentiel car tous deux se rejoignent dans la conclusion que lorsque les entreprise s'écartent d'une production optimale par unité de temps leurs coûts augmentent.

¹⁵⁷ Ce raisonnement vaut pour des biens non périssables et en négligeant les coûts d'immobilisation liés à la durée de transport.

¹⁵⁸ R. Frisch souligne que la définition de la durée de production n'est pas toujours aisée lorsque de nombreux inputs sont utilisés. Il propose dans ces situations une moyenne pondérée prenant en compte les différents moments où les inputs sont utilisés pour produire le bien.

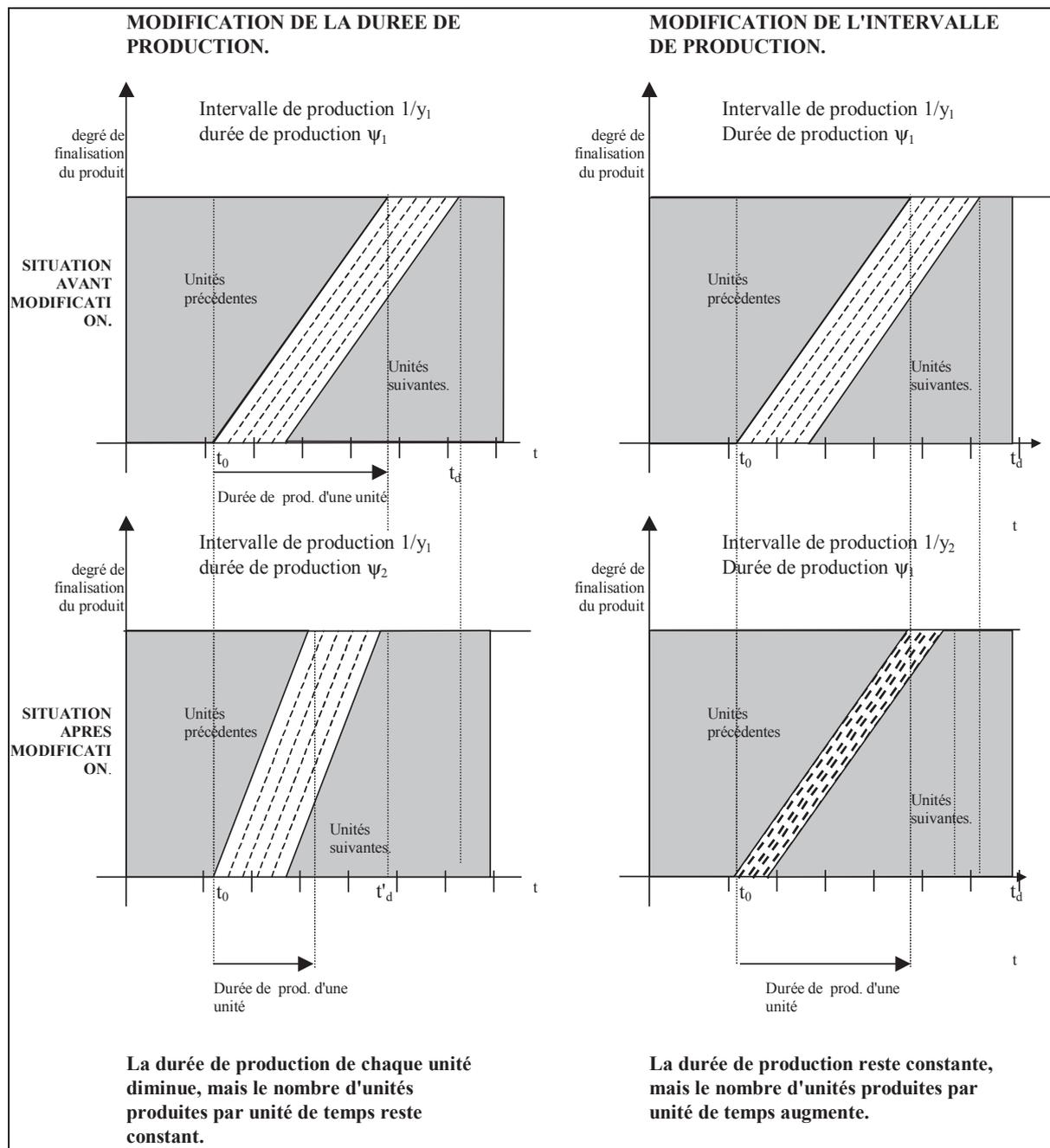
¹⁵⁹ "A manufacturing cycle includes all activities from order processing to shipping" [Un cycle de production comprend toutes les activités de la commande à l'expédition]. Swamidass et Majerus, [1991].

unité de produit)¹⁶⁰. En réalité les choses sont un peu plus compliquées si l'on se place dans un modèle à plusieurs périodes, dans ce cas là l'arbitrage du producteur doit également intégrer les interactions entre périodes. L'approche évolue alors vers un modèle de distribution intertemporel de la production. L'analyse de cette situation est d'un intérêt limité puisqu'elle n'est pertinente que pour les producteurs de biens génériques. Or la nature générique d'un bien détermine un rapport au temps fondé sur l'existence d'un stock optimal.

La Figure 26 nous montre ainsi deux modalités différentes de modification de la durée de production. L'une s'applique à la durée qui s'écoule entre le début et la fin de la production d'une unité. La seconde correspond à la modification de l'intervalle entre l'achèvement de chaque unité. Or ces deux réalités ne sont pas liées entre elles de manière univoque.

¹⁶⁰ C'est l'approche utilisée par les travaux sur la queuing theory. Li et Lee [1994].

Figure 26 : deux manières différentes de modifier la durée de production



Si le bien est spécifique, l'arbitrage que peut effectuer le producteur ne porte pas sur son taux de production, mais bien sur la durée. Les difficultés sont alors multiples et les hypothèses à formuler nombreuses, et les résultats sont, par ailleurs, limités.

Relation entre coût et durées de production pour un bien spécifique

Pour présenter ces mécanismes on peut utiliser la fiction d'une période. On suppose que le producteur effectue ses choix par rapport à une période, un horizon temporel donné. Au début de cette période le producteur prend connaissance de la demande des consommateurs et éventuellement de la différence de consentement à payer des consommateurs en fonction de la date à laquelle le bien sera disponible. En

d'autres termes, il prend connaissance des courbes d'enchères¹⁶¹ qui caractérisent la demande des consommateurs. Il dispose également d'une connaissance des tarifs des transporteurs en fonction de la durée de transport. Ces données peuvent être identiques, ou non, à celles qui avaient été relevées sur les périodes précédentes. Le producteur doit alors effectuer des arbitrages sur la durée qu'il consacre à la production et au transport des extrants. En outre, s'il utilise aussi des intrants spécifiques, il devra faire un arbitrage sur la durée qu'il consacre à ses approvisionnements. Ces arbitrages seront effectués en cohérence avec les courbes d'enchères des consommateurs. Au sein de cet arbitrage le producteur doit choisir la durée qu'il dédie à la production.

Cette formalisation assez simple nous permet de ne pas rentrer plus en détail dans la diversité des processus productifs. Notamment une spécification complète du modèle amènerait à statuer sur de nombreux éléments dont certains concernent le cadre conceptuel dans lequel on peut se représenter les arbitrages du producteur, et d'autres les conditions matérielles d'insertion d'une commande dans la production de l'entreprise. Ces différents éléments sont présentés dans l'Encadré 9.

Encadré 9 : les arbitrages des entreprises dépendent des caractéristiques du processus productif

• **Séparation ou interaction entre périodes de production :**

- Séparation complète entre les périodes de production : au début de chaque période le producteur décide de ses quantités et de ses durées de production, sans prendre en compte leur effet sur les périodes suivantes.

- Chevauchement entre les périodes de production : le producteur a des biens en cours de production et doit insérer la production d'un lot supplémentaire de biens ; de plus il prévoit un niveau de production non nul pour la période suivante.

La première hypothèse simplifie grandement le problème mais la seconde est plus réaliste.

• **Rigidité ou souplesse de la programmation :**

Lorsque de nouvelles unités de produit doivent être programmées deux cadres décisionnels différents peuvent exister :

- le producteur peut modifier la durée de production des unités qui ont été mises en production précédemment.

- le producteur ne peut pas modifier ces durées de production.

Le premier cas est le plus difficile à formaliser car le producteur réarrange constamment ses durées de production au fur et à mesure qu'il reçoit de nouvelles commandes. Ce cadre est adapté si l'on suppose que la production ne s'effectue pas de manière séquentielle (type chaîne de production), et si le producteur est peu contraint par ses engagements en matière de délais (si cette contrainte est trop forte il ne choisit pas de modifier les durées de production des unités commandées précédemment. Sur ce point, le producteur peut également introduire un arbitrage en fonction des pénalités encourues en cas de retard).

• **Reproductibilité d'une période à l'autre ou non reproductibilité :**

Les variétés qui seront demandées au cours de la période ne sont pas connues mais les paramètres des fonctions de coût et de demande se reproduisent de période en période.

Dans le cas contraire le producteur fait un choix dans un contexte fortement plus incertain.

• **Possibilité de fractionner les lots de production et le départ des marchandises :**

Si le départ des marchandises peut être fractionné cela a un sens de vouloir modifier la planification de la production selon les priorités.

¹⁶¹ La courbe d'enchère est l'ensemble des couples (prix, quantité d'un attribut) qui fournissent le même niveau d'utilité à un individu caractérisé par un niveau de revenu donné.

L'Encadré 9 suggère la difficulté que l'on aurait à trouver une représentation valable de manière générale des arbitrages réalisés par les producteurs de biens spécifiques. On peut toutefois au-delà de la multiplicité des configurations envisageables, essayer de mettre en évidence des caractéristiques essentielles de la relation entre coûts de production et durée de production.

Sur ce point, nous examinons d'abord les résultats disponibles dans la littérature économique. Dans un second temps, on examine comment cette relation peut être qualifiée plus précisément en distinguant d'une part, court terme et long terme et d'autre part, coût marginal et coût unitaire.

Caractérisation de la relation coûts durée

En général les publications dans le domaine de la gestion voient dans la réduction des durées de production une source d'économie : Dertouzos et alii [1989], Goldratt et Fox [1986], Hayes et alii [1988], Schmenner [1988], Stalk et Hout [1990] ou encore Chao et Graves [1998]. Pour ces derniers : "*faire vite est un thème récurrent dans l'examen des bonnes pratiques industrielles et est soutenu de manière constante dans les travaux consacrés à la production*^{xvii}". D'autres travaux plus strictement économiques suggèrent le même type de relation (Istvan [1992]). Empiriquement Holmström [1994] observe une relation négative entre le montant des encours de production dans l'industrie automobile et l'efficacité de la production (rapport entre la valeur ajoutée et la valeur du capital et du travail utilisés). Suzaki [1985] aboutit à une conclusion similaire. Cela pourrait suggérer que, pour les durées courantes, les producteurs sont sur la partie croissante de la relation coût durée (une *diminution* des durées permet une *diminution* des coûts). On peut toutefois penser que ces éléments empiriques, outre le fait qu'ils sont peu nombreux, ne sont pas en eux-mêmes probants. Dans l'approche de Holmström, le montant des encours n'est qu'une variable proxy pour la vitesse ou la durée de production, les résultats obtenus sont collectés à un niveau agrégé, et enfin les résultats quantitatifs ne sont pas clairement marqués : par exemple le taux de corrélation entre niveau des encours et efficacité productive est (seulement) de 0,62.

Dans une approche plus strictement économique, on est tenté de prendre un parti adverse. Si les producteurs pouvaient économiser sur leurs coûts en raccourcissant leur cycle de production, et en plus économiser sur leurs coûts de transports en faisant appel à un transport plus lent (moins cher), ils le feraient déjà.

Un troisième point de vue renforce le précédent et se base sur l'ingénierie de la production qui analyse le processus de production en un ensemble de tâches élémentaires. En particulier, on pourra jusqu'à un certain point paralléliser certaines tâches, mais, outre le fait que cette parallélisation représente un coût, on devra, lorsque toutes les solutions de parallélisation auront été utilisées¹⁶², réduire la durée accordée à chacune des tâches élémentaires. Ce resserrement des délais de production aboutit, en outre, à des coûts de coordination et à une sensibilité accrue du système à la défaillance d'un des constituants de l'appareil de production. En outre, on butte sur des contraintes techniques : durée de certains processus chimiques, risques de non-qualité en cas de vitesses de production trop élevées.

En résumé, il y a bien ici deux questions qu'il faut résoudre séquentiellement. D'une part, que peut-on dire des **propriétés de la courbe représentant cp()**, coût de production en fonction de la durée de production ? D'autre part, **sur quel versant (croissant ou décroissant) de cette courbe** les producteurs se situent-ils ?

Sur le premier point, la multiplicité des approches amène à une réponse nuancée concernant le rapport entre durée de production et coût unitaire. De manière générale, en s'appuyant sur des éléments heuristiques, on pourra supposer que la fonction de coût **de production d'une unité** selon la durée de production correspond à une courbe en U. La partie décroissante de la courbe correspondra aux éléments

¹⁶² Typiquement, les opérations de transport étudiées dans la partie précédente fournissent l'exemple d'une activité dans laquelle les activités ne peuvent être parallélisées. Deux camions qui font 50 km en une heure ne remplacent pas un camion qui fait 100 km en une heure.

cités dans le paragraphe précédent. La partie **croissante** de la courbe correspond aux coûts que doit supporter le producteur si la durée qui s'écoule entre le moment où il reçoit ses intrants et le moment où les extrants quittent l'entreprise devient trop importante. Les coûts qui sont ici en jeu sont de nature très variée : coût d'immobilisation des encours de production, coût d'utilisation du capital proportionnel à la durée (utilisation des bâtiments sur une plus longue période) ou encore perte de productivité des travailleurs démobilisés par les délais.

Sur le second point : savoir sur quel "versant" de cette courbe les producteurs se situent pour les durées de production courantes ; la réponse doit, elle aussi, être circonspecte. On ne peut que souligner la contradiction entre les quelques résultats (en nombre limité) présentés dans les publications consacrées au rôle du temps dans la gestion des entreprises, et le raisonnement microéconomique qui présuppose que les producteurs sont dans leur situation optimale.

Précisions sur la relation entre coût et durée

Le développement précédent nous invite à deux précisions. Il s'agit d'examiner de quelle manière il s'articule par rapport aux catégorisations utilisées dans l'analyse économique. La première qui oppose coût marginal et coût moyen. La seconde qui oppose court terme et long terme

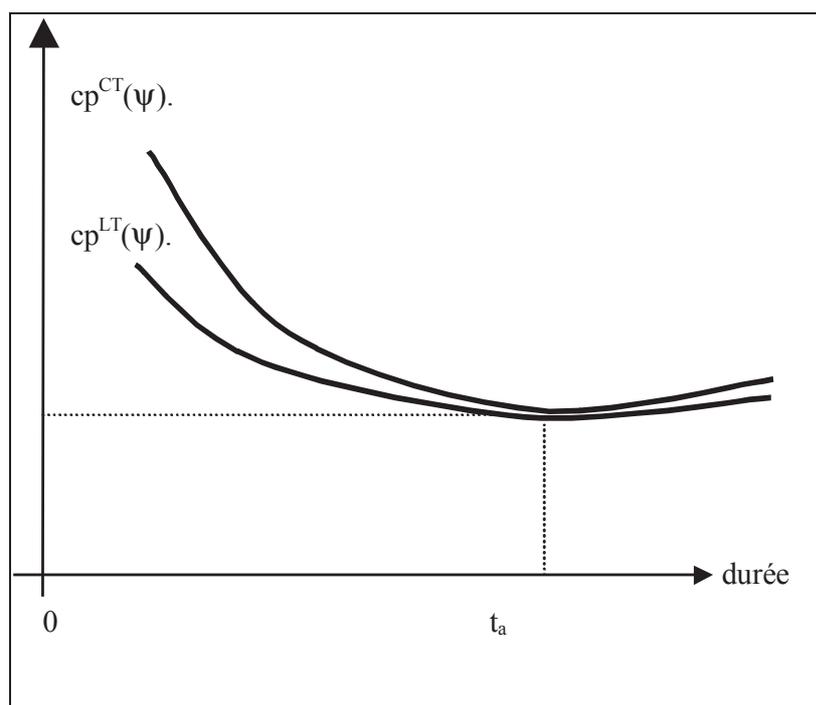
Coût marginal et coût unitaire

Il s'agit de déterminer quel sens on doit donner à la notion de coût unitaire que nous avons utilisée. Idéalement il serait souhaitable de distinguer un coût moyen et un **coût marginal**. On est alors amené à considérer la dérivée de second ordre : dérivée du coût de production par rapport au nombre d'unités et par rapport à la durée. Nous n'avons pas analysé de manière détaillée ces mécanismes et nous préférons proposer de poursuivre l'analyse selon l'hypothèse que le coût d'une unité supplémentaire est lui aussi variable en fonction de la durée de production, et que la courbe qui représente ce phénomène à l'aspect d'une courbe en U. Ce paradigme nous semble pertinent dès lors que l'on suppose que le producteur réalise un arbitrage sur chacune des unités produites. Dans ce cas, les paramètres de cet arbitrage seront certes différents en fonction du nombre d'unités déjà présentes dans le cycle de production, mais le mécanisme d'arbitrage sera lui identique pour les différentes unités qui entreront en production successivement.

Court terme et long terme

Le second élément pour lequel le sens de la relation coût-durée doit être précisé concerne l'horizon temporel concerné. Sur ce point, on peut supposer que l'aspect de cette courbe est semblable, **à court terme et à long terme**, mais que la pente de la courbe pourra être différente à ces deux horizons et sera probablement moins accentuée à long terme ce qui reflète les possibilités d'adaptation plus importantes dont dispose le producteur sur le long terme. La Figure 27 propose une représentation, à court terme et à long terme, des coûts de production d'une unité d'un bien en fonction des durées à long terme et à court terme.

Figure 27 : coût de production unitaire à long terme et à court terme en fonction des durées (allure de la courbe)



Conclusion sur les producteurs

Au final, la relation entre durée de production et coût de production doit être analysée en prenant en compte la distinction cardinale entre biens **génériques** et biens **spécifiques**.

La difficulté de l'analyse est limitée pour les biens dits "**génériques**", puisqu'une modification de la durée de production (au sens d'intervalle de temps s'écoulant entre la production de deux unités successives) est équivalente à une modification de la quantité d'unités produites par unité de temps. On peut alors réutiliser les développements standards de la microéconomie de la production. Mais cette situation la plus facile à traiter est aussi la moins intéressante car la nature même des biens génériques fait qu'une stratégie de stock optimal pourra être mise en place par le producteur. De ce fait, quel que soit le niveau d'exigence de la demande en termes de délais de livraison et quelles que soient les modifications à court terme ou à long terme de ce niveau d'exigence, la réponse de l'entreprise sera de puiser dans son stock optimal, ou si le modèle prend en compte plusieurs périodes, de répartir dans le temps les modifications du rythme de la production qui permettent de reconstituer le niveau de stock optimal.

Pour les biens **spécifiques**, la durée de production ne doit pas être conçue sous l'angle du taux de production, ou de l'intervalle entre unités de produits, mais comme la durée qui s'écoule entre le début de la mise en production et la fin de la production d'une unité donnée. Sur ce point les résultats disponibles sont peu nombreux. D'un point de vue heuristique, en l'absence de résultats empiriques consolidés, on est amené à supposer que les coûts de production sont décroissants puis croissants en fonction de la durée de production. La difficulté essentielle est alors de savoir sur quelle "pente" de cette courbe en U se situent les entreprises pour les durées courantes.

Dans la suite de ce travail, nous maintiendrons l'hypothèse selon laquelle la courbe de coût en fonction des durées est en U et que les producteurs sont dans la partie décroissante de la courbe. Il restera toutefois possible, dans des travaux ultérieurs, d'étudier ce qu'il advient s'ils sont dans la partie croissante de la courbe.

On a ainsi restitué la variabilité des coûts par rapport aux durées de production, qui s'ajoute à l'effet des durées de transport pour justifier les arbitrages effectués par les producteurs concernant la durée qu'ils consacrent à différentes opérations. En guise de synthèse, le Tableau 35 ci-dessous représente, de quelle manière, différents coûts devront ou non être pris en compte selon la configuration productive de l'entreprise.

Ce tableau reprend les différents coûts que l'état de l'art nous avait permis de recenser dans le chapitre 2 (Tableau 12 p. 80). Il ajoute à ces coûts une ligne concernant la relation entre coûts de productions et durées de production, que notre analyse a mis en évidence. On introduit également en colonne les principales caractéristiques du contexte productif de l'entreprise.

Tableau 35 : différentes configurations productives amènent à différents types de coûts liés au temps

Contexte productif	Nature du bien :	Spécifique				Générique			
	Demande prévisible :	Oui		Non		Oui		Non	
	Bien périssable :	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Coûts	Coûts financiers d'immobilisation	X	X	X	X	X	X	X	X
	Modification des caractéristiques physiques des biens (ex : biens périssables)	X		X		X		X	
	Coût du stock optimal et coût de rupture de stock							X	X
	Coûts d'organisation logistique	X	X	X	X	X	X	X	X
	Coût de production dépendant de la durée de production	X	X	X	X				

On perçoit ainsi que les coûts de production des producteurs dépendent des durées qui sont consacrées à la production. Ce mécanisme s'ajoute à l'existence d'une relation entre coûts et durées de transport pour comprendre comment les gains de temps altèrent la situation des agents économiques. On ne serait toutefois pas complets pour le recensement de ces mécanismes si l'on ne prenait pas en compte le fait que les durées ont aussi un effet sur les consommateurs, ceux-ci n'étant pas indifférents au moment auquel un bien leur parvient, ou encore à la durée qui s'écoule entre leur commande et la livraison du bien. Il existe donc un consentement à payer qui dépend du moment auquel un bien est disponible. Précisons maintenant ce qu'il en est.

¹⁶³ Ces deux causes n'étant d'ailleurs pas fondamentalement différentes puisqu'elles correspondent tous les deux à une situation où le bien subit des variations de la demande, dans le second cas la situation de référence est celle d'une demande nulle, dans le premier celle d'une demande moyenne. Toutefois ces deux situations sont différentes en regard des stratégies de gestion que le producteur peut mettre en œuvre, puisque dans le cas d'un bien indifférencié il peut mettre en place une stratégie de stock optimal (Baumol et Vinod [1970]) qui lui permet de réduire les coûts de production et de stockage du bien pour faire face aux variations de la demande

3 La satisfaction des consommateurs dépend des durées

Dans cette partie, on examine comment la satisfaction des consommateurs peut être affectée par le moment à partir duquel un bien est disponible. On retrouve ici une idée formalisée par Arrow, mais que notaient déjà Pareto ou plus récemment Allais dans son *Traité d'Economie Pure* [1943] : *"de même que deux objets matériellement identiques diffèrent entre eux économiquement suivant le lieu où ils se trouvent, ils diffèrent également au point de vue économique suivant le temps auquel ils sont disponibles"*. Une thématique que l'on retrouve également dans les approches contemporaines de l'analyse coûts-avantages : *"les biens sont indicés par i , en prenant en compte, si nécessaire, le moment où ils sont livrés^{xv}"* (Drèze et Stern [1987], p. 912).

3.1 Comment représenter les préférences des consommateurs en fonction des durées ?

L'économiste dispose de certains outils conceptuels qui permettent de rendre compte de ce type de phénomènes. On pense immédiatement aux préférences intertemporelles ou à la notion d'actualisation. Nous verrons en quoi les notions qu'il faut mobiliser pour comprendre le rôle des durées sur la satisfaction des consommateurs peuvent ou non s'identifier à ces catégories traditionnelles de l'analyse économique.

On veut rendre compte, ici, du fait que les préférences des consommateurs peuvent dépendre du moment auquel le bien qu'ils souhaitent est disponible. Ici encore, une distinction peut être apportée selon la nature générique ou spécifique du bien. Si le bien est générique, ce problème revient à chercher de quelle manière la stratégie de stockage des distributeurs peut répondre à cette demande : s'ils peuvent répondre, le bien est réputé toujours disponible¹⁶⁴ ; si les stratégies de stockage sont défaillantes, alors la problématique est pour le consommateur d'attendre ou de changer de distributeur ou éventuellement de produit. La situation est plus intéressante dans le cas des biens spécifiques. Dans ce cas, les préférences du consommateur peuvent s'exprimer soit en termes de "durées", celles qui s'écoulent entre le moment de la "commande" et le moment de livraison ; soit, une fois que l'on suppose fixé le moment de la "commande", en terme de "dates", de "moments" de livraison du bien. Enfin, le consommateur est indifférent aux durées que son bien de consommation aura passé en déplacement ou en transport. Ce qui compte pour lui est la durée "order to delivery" ou, une fois fixée la date de la commande, la date à laquelle le bien est disponible.

On rejoint ici la thématique du "time sensitive consumer" qui a connu un engouement particulier dans une branche très spécialisée de l'économie industrielle : nommément les "queuing games", qui sont notamment documentées dans plusieurs articles de la revue *Management Science* (Cachon et Harker [2002] ; Li et Lee [1994]). Dans cette approche, la demande qui s'adresse à des firmes en compétition monopolistique dépend d'un "full price" qui s'écrit comme la somme d'un prix monétaire et d'un indicateur de la performance des entreprises. Lorsque cet indicateur de performance est la durée qui s'écoule entre la commande et la livraison du bien, cette approche conduit à la formulation d'une désutilité liée à l'attente des clients : *"désutilité des consommateurs en fonction de la durée nécessaire à la firme pour réaliser sa prestation^{xvi}"* (Cachon et Harker [2002]). Dès lors, pour rendre opératoire le jeu concurrentiel il est nécessaire de fournir une formulation explicite à cette désutilité temporelle.

¹⁶⁴ Aux difficultés près d'éloignement au lieu de distribution, mais alors la problématique devient une autre.

Li et Lee [1994] proposent de représenter les préférences des consommateurs par des fonctions d'utilité du type :

$$U(V,W) = e^{-rW}V, \text{ avec (notations de l'auteur) :} \quad (5.12)$$

U,	fonction d'utilité,
V,	fonction de toutes les qualités du bien autre que la durée d'attente pour obtenir le bien,
W,	durée d'attente avant que le bien ne soit disponible,
r,	taux d'actualisation.

Ainsi que le montre cet exemple - nous semble-t-il représentatif - l'approche des "queuing games" repose sur la prise en compte d'un taux d'actualisation. Si cette représentation est apte à rendre opératoire les "jeux" d'économie industrielle, il est possible qu'elle soit insuffisante à rendre compte de manière pertinente de préférences temporelles parfois plus subtiles. On propose ici une formalisation différente.

Dans la formulation la plus complète, le temps intervient au moins de trois manières dans la satisfaction du consommateur : par la date à partir duquel le bien est disponible, par la durée durant laquelle le produit est à sa disposition, et enfin par l'étendue de l'horizon temporel du consommateur. Faisons un détour par cette formulation complète, avant de voir comment nous pouvons la simplifier. On suppose que le consommateur peut ne pas être indifférent par rapport aux dates auxquelles il détient la quantité x_1 du bien 1. On peut alors introduire une fonction d'utilité $U(x_1, t)$ qui représente les préférences du consommateur en fonction du nombre d'unités du bien x_1 pour chaque moment t : $U(x_1, t_1)$ n'est pas toujours égal à $U(x_1, t_2)$. Le consommateur forme son choix en considérant l'ensemble des périodes auxquelles le bien sera disponible. Il devra ainsi prendre en compte :

- le moment à partir duquel le bien est disponible,
- le moment à partir duquel il ne produira plus d'utilité, soit parce que le produit aura atteint sa durée de vie, soit parce que le consommateur prend en compte un horizon limité dans ses arbitrages.

Dans ce cadre, la fonction d'utilité qui représente les préférences du consommateur, peut s'écrire comme une actualisation de l'utilité que fournit ce bien pour toutes les dates pour lesquelles il sera disponible ¹⁶⁵. Soit :

$$U(x_1, t_a, T) = \int_{t_a}^T \phi(U_t(x_1, t)) dt, \text{ avec :} \quad (5.13)$$

ϕ ,	fonction d'actualisation de l'utilité du bien dans les périodes futures ¹⁶⁶ ,
$U_t(x_1, t)$,	utilité fournie par le bien au moment t ,
t_a ,	moment à partir de laquelle le bien est disponible,
T ,	horizon d'actualisation du consommateur qui correspond soit à la fin de vie du produit, soit aux limites de l'horizon temporel pris en compte dans l'actualisation.

¹⁶⁵ Ce point peut être souligné, car c'est un des éléments sur lesquels on peut faire la différence entre l'approche proposée ici et les méthodes de valorisations des gains de temps en transport de voyageurs, pour lesquelles l'utilité de l'individu dépend des durées dédiées à telle ou telle activité, mais ne dépend pas de la succession entre ces durées (par exemple si la période de travail est avant ou après la période de loisir). Ici par contre l'ordre de succession entre les "durées" caractérisées par la possession ou la non possession d'un bien revêt un rôle explicite puisqu'elle intervient directement dans la fonction d'utilité.

¹⁶⁶ Cette fonction peut être plus complexe que la simple application d'un taux d'actualisation composé (Samuelson [1937]). On peut ne pas imposer trop de restrictions a priori afin de prendre en compte des phénomènes tels que le "savouring" (préférence pour repousser dans le temps une expérience favorable), ou l'"enjoyment by anticipation" Shackle [1990] p. 9, ou encore le "dread" (anticipation des tâches jugées désagréables). Pour une discussion plus complète de ce point, on pourra se référer à Frederick et alii [2002].

Si T est exogène au choix du consommateur (ou bien lorsqu'il est déterminé par t_a , ce qui est le cas, lorsque par exemple le produit a une durée de vie donnée), le seul élément temporel qui rentre en compte dans les préférences des consommateurs est t_a . Si l'on introduit un panier de biens alternatif noté x_2 , dont on suppose que l'utilité ne dépend pas de la date de disponibilité, et que l'on considère que la quantité du bien x_1 est fixe, on pourra représenter les préférences du consommateur par une fonction d'utilité du type :

$U(t_a, x_2)$, avec :

U ,	fonction d'utilité représentant les préférences du consommateurs,
t_a ,	date à partir de laquelle le bien 1 est disponible,
x_2 ,	quantité du bien 2 consommée.

Cette formalisation implique deux commentaires.

Tout d'abord, le lien est tentant avec les **notions d'actualisation et d'arbitrage intertemporel**. Concernant le premier point, la notion **d'actualisation**, on voit que, par définition, la fonction d'utilité ainsi spécifiée ne se réduit pas à un problème d'actualisation, puisqu'elle prend en compte explicitement les différences d'utilité du bien entre "moments". Si l'on ne prenait en compte que l'actualisation, la fonction $U(t_a)$ serait décroissante par rapport à t_a . Alors que si l'on prend en compte la possibilité que détenir le bien à un moment t soit pénalisant pour le consommateur, on aura des fonctions $U(t_a)$ qui pourront être croissantes en fonction de t_a . Concernant l'utilisation des **arbitrages intertemporels**, la différence est qu'ici on suppose une seule période économique : on ne prend pas en compte la répartition inter temporelle du revenu, de la consommation.

En second lieu, les formalisations que l'on peut réaliser dépendent des restrictions a priori que l'on peut formuler sur la fonction de demande : soit les quantités consommées du bien x_1 sont fixes, l'arbitrage se fait donc entre avoir le bien plus tôt et consommer moins du bien alternatif ou l'inverse ; soit les quantités peuvent varier en fonction des dates de disponibilité. La formalisation peut aussi être différente selon le type d'hypothèses utilisées pour la fonction d'utilité. Soit on se concentre sur une fonction d'utilité déterministe dans laquelle on intègre certaines caractéristiques du bien et on retrouve ici le modèle "hédonique" de Houthakker [1952], généralisé par la suite par Rosen [1974], de choix d'une variété, avec la simplification qu'une variété se définit uniquement selon sa date de disponibilité. Soit on se concentre sur une modélisation de l'utilité aléatoire dans le cadre d'un modèle de choix discret. Etant donné que la première approche dite "hédonique" se prête plus aisément à une généralisation en faveur d'un nombre d'unités variables, c'est d'abord celle-ci que nous favoriserons. On retrouvera alors les caractéristiques traditionnelles de l'approche hédonique et notamment la possibilité que le prix marginal d'une caractéristique ne soit pas constant, et les difficultés analytiques que cela impose comme le soulignait Rosen [1974] : *"beaucoup moins de choses peuvent être dites (en présence de contraintes non linéaires) que dans la théorie standard"*^{xvii}.

Voyons de quelle manière, dans le cadre que nous proposons, la formalisation des choix du consommateur, en fonction des durées, peut être réalisée.

3.2 Choix du consommateur pour une quantité donnée

On se place dans le cadre où l'on peut représenter les préférences du consommateur par une fonction :

$U(t_a; x_2)$, avec :

U ,	fonction d'utilité du consommateur,
t_a ,	date à partir le bien 1 est disponible,
x_2 ,	quantité de bien 2 consommées.

Cette écriture suppose que la quantité de bien x_1 consommée est fixe, que la date de disponibilité du bien 2 n'est pas susceptible d'arbitrage. De la sorte, l'arbitrage du consommateur se résume, dans ce cadre simplifié, à disposer du bien x_1 plus tôt en diminuant sa consommation du bien x_2 .

On pourra supposer que :

- $\delta U / \delta x_2 > 0$.
- $\delta U / \delta t_a < 0$.
- $\delta^2 U / \delta x_2 \delta t_a = 0$.

Cette écriture implique que :

(i) la caractéristique t_a contribue négativement à l'utilité, de manière monotone. L'hypothèse alternative d'une utilité marginale non monotone ou monotone croissante, ne peut certes pas être exclue. Sauf mention contraire, on s'en tiendra toutefois à l'hypothèse correspondant à l'écriture ci-dessus qui nous semble correspondre à une situation plus typique.

(ii) la date de disponibilité du bien x_1 ne joue pas sur l'utilité du bien x_2 . Ce point pourrait faire l'objet de spécifications plus complexes que nous ne traiterons pas.

Le programme du consommateur s'écrit :

Max $U(t_a, x_2)$.

s.c. $p(t_a) + p_2 \cdot x_2 = Y$, avec :

$U()$	fonction d'utilité représentant les préférences du consommateur.
$p(t_a)$	prix du bien 1, en fonction de sa date de disponibilité.
p_2	prix du bien 2.
x_2	quantité du bien 2 consommée.
Y	revenus.

Ce qui donne le lagrangien suivant :

$$L(t_a, x_2) = U(t_a, x_2) - \lambda(p(t_a) + p_2 \cdot x_2 - Y). \quad (5.14)$$

Les conditions de premier ordre¹⁶⁷ donnent :

$$\begin{aligned} \delta L / \delta t_a = 0 & \quad \delta U(t_a^*) / \delta t_a = \lambda \cdot p'_{t_a} \\ \delta L / \delta x_2 = 0 & \quad \delta U(x_2^*) / \delta x_2 = \lambda \cdot p_2 \\ \delta L / \delta \lambda = 0 & \quad p(t_a^*) + p_2 \cdot x_2 - Y = 0. \end{aligned}$$

On retrouve les conditions d'égalité entre Taux Marginal de Substitution (T.M.S.) et rapport du prix des biens avec la complication supplémentaire que le prix des biens dépend de la date de disponibilité.

¹⁶⁷ On supposera résolues les conditions de second ordre.

Le programme ainsi décrit peut être résolu pour trois situations de difficulté croissante :

Dans une première formulation on suppose que l'utilité et les prix (et donc la contrainte budgétaire) sont linéaires. Ces hypothèses hautement restrictives peuvent par la suite être levée une à une : tout d'abord en introduisant un prix non linéaire, puis en relâchant l'hypothèse de fonctions d'utilité linéaire.

1 - Simplification : utilité linéaire, prix linéaire

On suppose que t_a et x_2 interviennent de manière linéaire dans la fonction d'utilité. On peut écrire :

$$U(t_a, x_2) = \alpha t_a + \beta x_2 \quad (5.15)$$

où, α et β sont les paramètres de la fonction d'utilité affectés à t_a et x_2 .

Si, en outre, on pose que le bien 2 est le numéraire, les conditions de premier ordre donnent :

$$\begin{array}{lll} \delta L / \delta t_a = 0 & \alpha = \lambda \cdot p_{t_a}' & \Rightarrow \quad \alpha / \lambda = p_{t_a}' \\ \delta L / \delta x_2 = 0 & \beta = \lambda & \\ \delta L / \delta \lambda = 0 & p(t_a) + x_2 = Y. & \end{array}$$

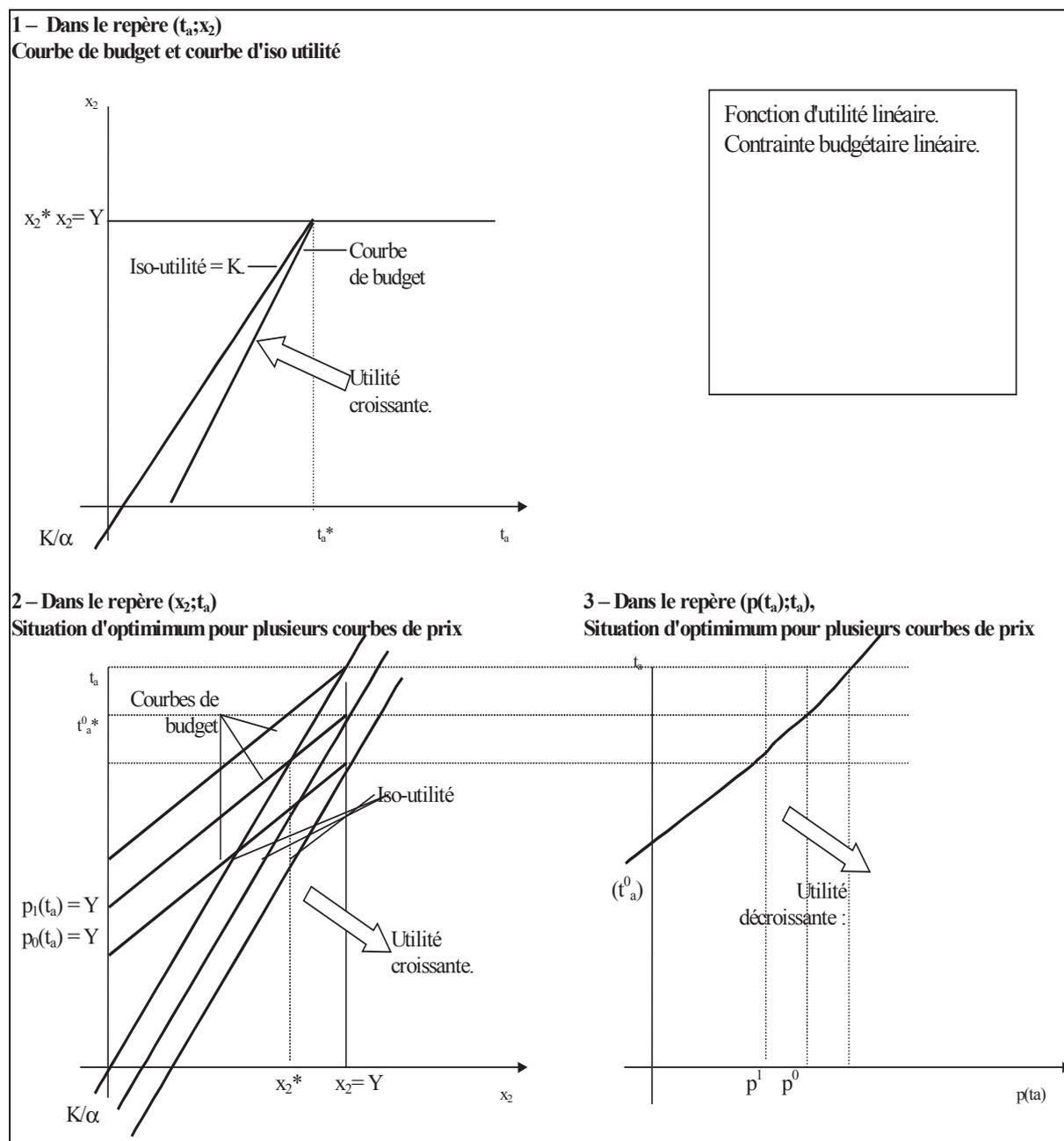
Si, en outre, le prix de la caractéristique t_a est linéaire, soit par exemple $p(t_a) = p(0) + \tau \times t_a$, avec $\tau < 0$. $p(0)$ représente le prix de la marchandise lorsqu'elle est disponible immédiatement, τ représente l'évolution du prix (baisse) lorsqu'il est disponible plus tard, on arrive à :

$$\begin{array}{l} \alpha / \lambda = \tau \\ \beta = \lambda \\ p(0) + \tau \cdot t_a + x_2 = Y \end{array}$$

La résolution de ce problème simplifié peut être représentée sur la Figure 28. Sur cette figure on représente, dans le **volet 1**, dans le repère $(t_a; x_2)$ une *courbe de budget* d'équation $x_2 = Y - p(0) - \tau t_a$, et une *courbe d'iso-utilité*, qui pour un niveau d'utilité K est représentée par l'équation : $t_a = K/\alpha - (\beta/\alpha) \cdot x_2$. Cette courbe croise l'axe des t_a ($x_2 = 0$) en $t_a = K/\alpha$. Comme on le constate, cette situation aboutit à des solutions "dégénérées" dans lesquelles l'individu choisit soit (et c'est le cas représenté sur la Figure 28) de repousser la consommation du bien 1 suffisamment pour que son prix s'annule et consacre tout son budget au bien x_2 ; soit, si les pentes des courbes de budget et d'iso-utilité le déterminent, de consacrer tout son budget à anticiper l'arrivée du bien x_1 . Ces solutions reflètent bien entendu le caractère simpliste des hypothèses formulées notamment sur la linéarité des fonctions d'utilité et des fonctions de prix.

Les volets 2 et 3 de la Figure 28 présentent la même situation en modifiant le repère utilisé pour la représentation : $(x_2; t_a)$ ($p(t_a); x_2$). Le volet 2 permet, en outre, d'examiner de quelle manière la situation est modifiée lorsque la courbe de budget est déplacée : on y présente plusieurs courbes de budget, chacune correspondant à un niveau de la courbe $p(t_a)$, et pour chacune d'entre elles la date t_a optimale.

Figure 28 : choix de la date de disponibilité du bien : contrainte budgétaire linéaire et fonction d'utilité linéaire



Comme on le constate, la portée des solutions ainsi obtenues est grandement limitée par le caractère simpliste des hypothèses retenues. L'arbitrage devient plus réaliste si l'on introduit, tout d'abord, le caractère non linéaire des prix.

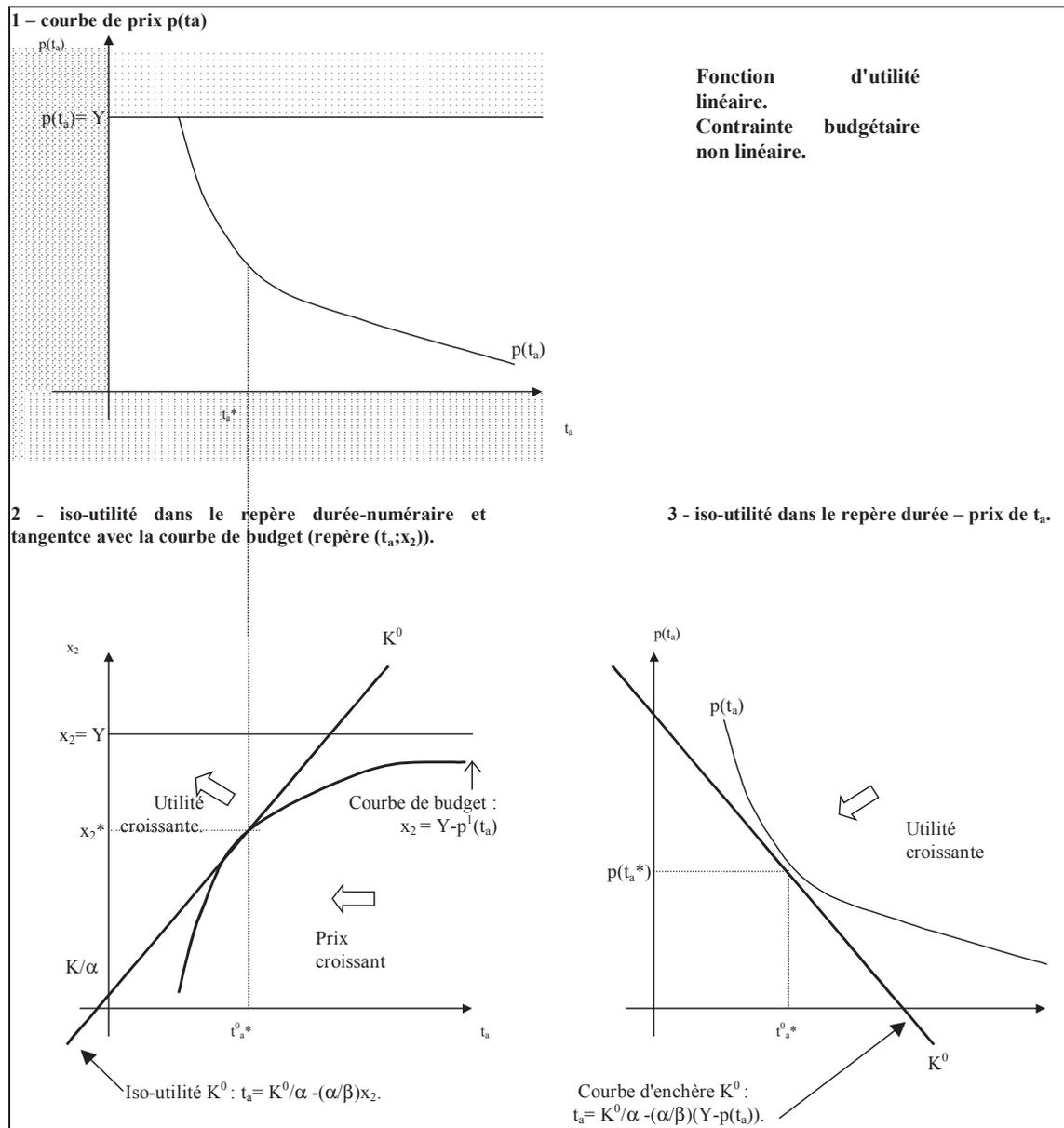
2 - Utilité linéaire, contrainte budgétaire non linéaire

Le caractère non linéaire de la contrainte budgétaire pourra permettre, d'obtenir des solutions non dégénérées y compris pour des fonctions d'utilité linéaires. Le panneau 1 de la Figure 29 représente la courbe de prix dans le repère $(t_a; p(t_a))$. Les courbes **d'iso-utilité** sont données par : $K = \alpha t_a + \beta x_2$ soit $t_a = K/\alpha - (\beta/\alpha) \cdot x_2$. La contrainte **budgétaire** sera représentée par : $x_2 = Y - p(t_a)$. Ces deux courbes sont représentées sur le panneau 2 de la Figure 29 ci-dessous. La situation optimale $(x_2^*; t_a^*)$ du

consommateur sera représentée par le point de tangence entre la courbe d'iso-utilité située le plus possible "en haut à gauche" et la courbe de budget.

Le point particulier est ici que l'on peut introduire une autre représentation des fonctions d'iso-utilité en se plaçant dans le repère $(t_a; p(t_a))$ plutôt que dans le repère $(t_a; x_2)$. Cela est représenté sur le panneau 3 de la Figure 29. Ces courbes d'iso-utilité sont construites graphiquement par "pivotement" sur elles-mêmes des courbes d'iso-utilité traditionnelles en utilisant le fait que $p(t_a) = Y - x_2$. Algébriquement $t_a = K/\alpha - (\beta/\alpha) \cdot x_2$ devient $t_a = K/\alpha - (\beta/\alpha) \cdot (Y - p(t_a))$. Ces courbes correspondent aux "fonctions d'enchères" de l'approche hédonique¹⁶⁸. Elles relient des combinaisons $(t_a; p(t_a))$ qui fournissent le même niveau d'utilité. Chacune de ces courbes est définie pour un niveau de revenu.

Figure 29 : optimisation par le consommateur (utilité linéaire, prix non linéaire)



¹⁶⁸ Comme le définit Rosen [1974], la fonction d'enchère est la fonction $\theta(t_a, u, y) / U(y - \theta, t_a) = K$. C'est-à-dire la quantité de numéraire dont l'agent est prêt à se passer, pour chaque niveau de l'attribut t_a .

De manière analytique, les conditions de premier ordre donnent :

$$\alpha/\lambda = p'_{t_a}.$$

$$\beta = \lambda.$$

$$p(t_a) + x_2 = Y.$$

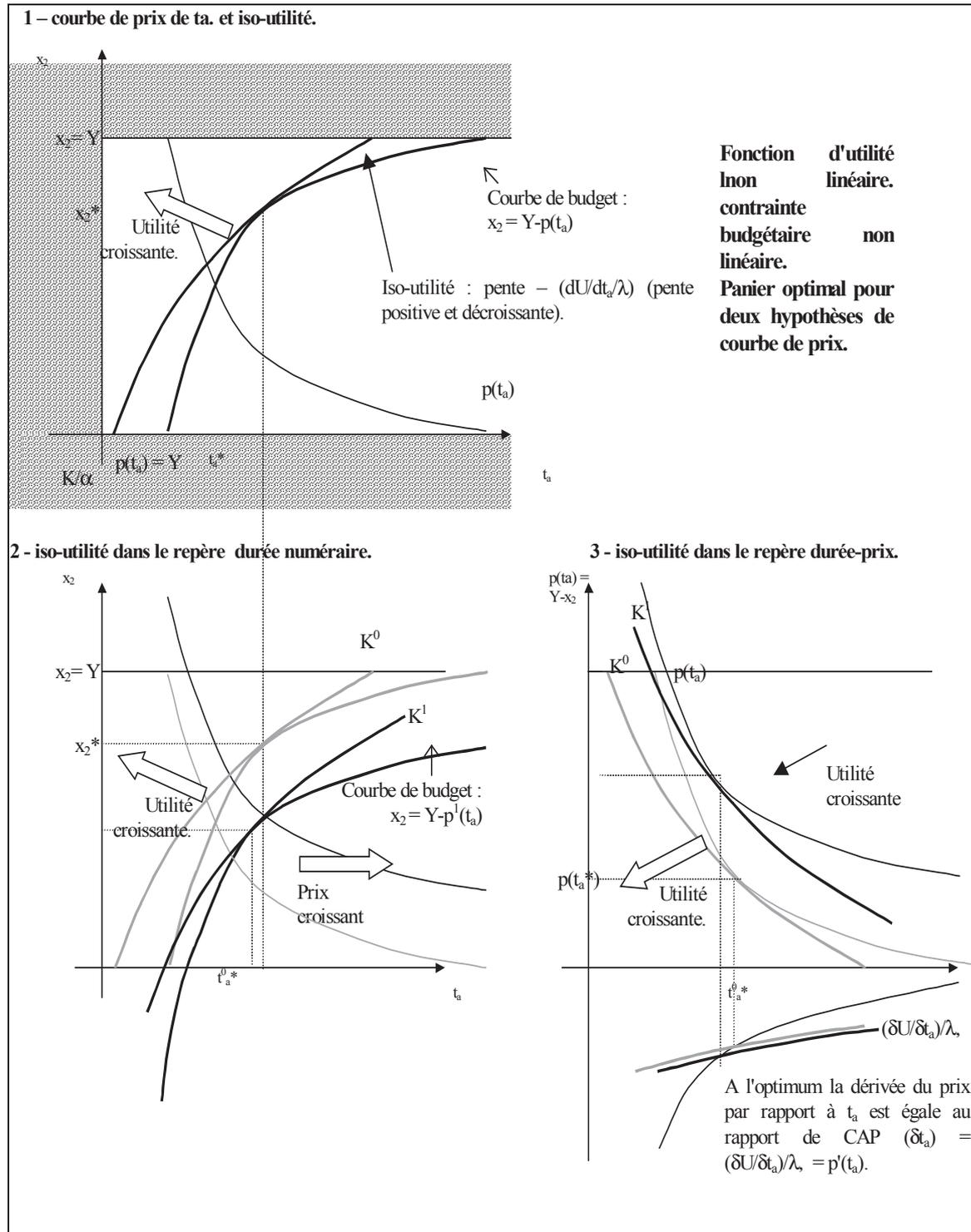
$(\delta U/\delta t_a)/(\delta U/\delta x_2) = (\delta U/\delta t_a)/\lambda = \alpha/\lambda$: le consentement à payer pour une augmentation de t_a est la quantité négative et constante : α/λ . Le consentement à payer pour une diminution de t_a est la même quantité avec le signe inverse.

On peut ajouter un degré de flexibilité et de réalisme supplémentaire en relâchant l'hypothèse de linéarité des fonctions d'utilité.

3 - Fonction d'utilité non linéaire, prix non constant

La situation des fonctions d'utilité non linéaires est illustrée sur la Figure 30. On représente tout d'abord la courbe représentative de $p(t_a)$ (volet 1) ainsi que les courbes de budget $Y = x_2 + p(t_a)$ et d'iso-utilité (courbe de pente $-\delta U/\delta t_a/\lambda$). Dans le volet 2 on représente – pour deux courbes $p(t_a)$ distinctes l'une représentée en noir, l'autre en gris - le point d'équilibre caractérisé par la tangence entre la courbe de budget et la courbe d'iso-utilité. Enfin dans le volet 3 on représente la courbe d'iso-utilité dans le repère $(p(t_a); t_a)$ ce qui correspond à la courbe d'enchère. Le consommateur se place à l'optimum en un point où $p(t_a)$ est tangente avec sa courbe d'enchère ; ce point d'égalité entre dérivées peut également être représenté en traçant les courbes de prix *marginal* de l'attribut t_a et d'enchère *marginale* et en constatant que, à l'équilibre, les deux courbes se croisent (partie inférieure du volet 3)

Figure 30 : optimisation par le consommateur (utilité non linéaire, prix non linéaire)



Comme on peut également le voir, les conditions de second ordre deviennent plus contraignantes dans cette situation. Comme l'illustre le volet 1 de la Figure 30, si l'on souhaite un optimum non dégénéré il faut que la concavité de la courbe de budget soit plus importante que celle de la courbe d'iso-utilité.

On peut également observer de quelle manière la situation optimale du consommateur est modifiée lorsque la courbe de prix est déplacée. Les courbes grisées dans les volets 2 et 3 correspondent à une situation où le prix de x_1 est moins élevé. Dans le cas (particulier) représenté ici, le consommateur

choisira de profiter de cette baisse de prix pour augmenter la quantité de x_2 qu'il consomme et pour choisir une variété de x_1 plus tardive.

On voit ainsi de quelle manière le consommateur peut sélectionner une date optimale t_a , et par la même se placer à un niveau optimal de la courbe $p(t_a)$. La formalisation ainsi réalisée correspond à celle proposée pour les biens hédoniques.

3.3 Conclusion sur les consommateurs

Les préférences des consommateurs peuvent être différentes selon le "moment" à partir duquel un bien qu'ils veulent acquérir leur est disponible.

Si l'on suppose que le bien concerné est acheté en une quantité fixée, on peut représenter l'effet de la date de disponibilité, conformément à l'approche hédonique, par une courbe d'enchère. Celle-ci sera décroissante et exprimera le fait que, pour un certain niveau de revenu, le montant que l'individu est prêt à payer pour disposer du bien à la date t_a diminue quand t_a augmente.

L'hypothèse sur la fixité des quantités n'est pas sans importance. En toute rigueur, si l'on veut donner tout son poids à un calcul de modification du surplus il faut pouvoir rendre compte des modifications de quantités consommées. Ce point devra probablement faire l'objet d'analyses complémentaires.

Ainsi la satisfaction des consommateurs dépend du moment auquel un bien est disponible, tandis que, comme nous l'avons vu précédemment, les coûts de production dépendent des durées de transport.

Ce consentement à payer a des implications pour l'entreprise expéditrice qui fait face à des revenus variables en fonction du moment auquel elle rend disponible le bien, ce à quoi elle pourra répondre soit par une modification des durées de déplacement soit en anticipant la fin du cycle de production de la marchandise.

* *
*

Conclusion

On a ainsi décrit de quelle manière les différents types d'agents économiques : transporteurs, producteurs et consommateurs, ont des coûts ou des préférences qui dépendent des durées : durée de transport (en déplacement et hors déplacement), durée de production, durée de livraison.

Ces éléments permettent de mieux comprendre certains arbitrages temporels. Pour les producteurs, l'existence d'un coût marginal temporel non nul de la production, est une justification de l'arbitrage en faveur de modes de transports rapides. Pour les transporteurs le processus d'optimisation par rapport aux durées de déplacement et aux durées hors déplacement permet de réconcilier deux observations : la croissance des coûts de déplacement en fonction des durées de déplacement et la décroissance des coûts de transport en fonction des durées de transport. Se déplacer plus vite coûte moins cher (du moins dans la situation typique du secteur routier), mais un service de transport plus rapide coûte plus cher.

Cette description fournit un cadre général pour examiner, dans un second temps, quelle situation d'équilibre résulte de la mise en présence de ces différents comportements et de quelle manière une modification des durées minimales de déplacement modifie cet équilibre. Cette analyse est l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 6 : Les effets d'un gain de temps

Dans ce chapitre, on examine de quelle manière les producteurs et les transporteurs se positionnent sur leur courbe de coût variable en fonction des durées. Cette question appelle à un traitement différent selon que l'on examine des biens génériques ou des biens spécifiques. Nous nous attarderons plus particulièrement sur la seconde catégorie. Les producteurs font face à des coûts variables en fonction des durées qu'ils consacrent à trois phases du cycle de production : approvisionnement en intrants, production à proprement parler et transport des extrants. Par ailleurs, pour les producteurs de biens spécifiques, et c'est l'élément qui permet de solutionner le programme de maximisation du profit, les recettes sont variables en fonction de la durée qui s'écoule entre la passation de la commande par un consommateur et la livraison du bien. Outre les producteurs, les transporteurs font face à un mécanisme d'optimisation similaire : leurs coûts et leurs recettes sont variables en fonction des durées de transport.

Il devient dès lors possible de spécifier l'équilibre qui résulte des comportements d'optimisation des producteurs et des transporteurs. Cet équilibre se fait en relation avec les préférences temporelles des consommateurs. En outre, cet équilibre est contingent aux durées de déplacement minimales offertes par le réseau de transport, du moins cela est le cas dès lors qu'un des agents, en l'occurrence le transporteur, est contraint dans ses arbitrages par l'existence de ce minimum.

On peut alors examiner de quelle manière la situation des différents agents économiques est altérée lorsque les durées minimales de déplacement sont modifiées. Le point important est ici que, même si les consommateurs et les producteurs ne sont pas directement contraints par les durées de déplacement, les fonctions de coûts auxquels ils font face, intègrent implicitement l'effet de cette contrainte.

L'analyse des effets d'un gain de temps peut être menée en deux temps.

Dans un premier temps, on analyse de manière statique les arbitrages réalisés par les transporteurs et les producteurs.

Dans un second temps, on examine de quelle manière ces arbitrages sont affectés lorsque les durées minimales de déplacement sont modifiées.

1 Analyse statique : arbitrage des producteurs et des transporteurs

On présente la maximisation du profit par les producteurs puis par les transporteurs. Ensuite, on examine de quelle manière un équilibre sur le marché résulte de ces deux comportements d'optimisation.

1.1 Maximisation du profit par les producteurs

Les producteurs maximisent leur profit en choisissant la durée consacrée aux différentes phases de leur cycle de production. Dans le traitement proposé ici, on suppose que différents producteurs sont susceptibles de produire le bien¹⁷⁰.

Pour pouvoir passer de la description de la fonction de coût "temporel" des producteurs à la détermination de leur position optimale, il faut activer le lien qui les unit à leurs clients, et donc introduire le fait que les préférences des consommateurs déterminent les recettes des producteurs : dans le cas typique, les biens disponibles plus tôt peuvent être vendus plus chers. Cette possibilité est offerte uniquement aux producteurs de biens "spécifiques". Les producteurs de biens génériques, par contre, ont à leur disposition une autre stratégie pour répondre à la demande des consommateurs : ils peuvent mettre en place un stock qui permet de répondre à la demande quand elle se manifeste sur le marché, le bien est donc soit disponible soit indisponible, mais sa date de disponibilité n'est pas une variable d'action pertinente pour l'entreprise.

Une vision d'ensemble de la situation des producteurs de biens génériques ou spécifiques, est présentée dans le Tableau 37 qui reprend le Tableau 35 en y ajoutant une ligne de recettes. On peut alors envisager pour différentes configurations productives, les paramètres principaux d'optimisation du profit pour le producteur.

Tableau 37 : différentes configurations productives amènent à différents types de coûts liés au temps

Contexte productif	Nature du bien	Spécifique				Générique				
		Demande prévisible		Non		Oui		Non		
		Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	
Coûts	durée de transport	Coûts financiers d'immobilisation	X	X	X	X	X	X	X	X
	durée de production	Modification des caractéristiques physiques des biens (ex : biens périssables)	X		X		X		X	
		Modification du stock optimal							X	X
Recettes	durée de production	Coût de production dépendant de la durée de production	X	X	X	X				
		Recettes dépendant du moment où le bien est disponible	X	X	X	X				

¹⁷⁰ Le traitement n'est pas, en l'état, un modèle de différenciation ou de compétition monopolistique.

On suppose dans un premier temps, que le producteur est capable d'arbitrer sur l'ensemble de son cycle de production. Il agit sur le moment d'arrivée de ses intrants, sur la durée de son cycle de production et, via le transporteur avec lequel il contracte, sur le moment d'arrivée de ses marchandises à destination. C'est ce dernier point qui le relie au consentement à payer des destinataires des marchandises.

Dans ce cadre général, on rappelle tout d'abord dans l'Encadré 11 quels types d'arbitrages peuvent être réalisés pour les biens génériques. Puis on propose un traitement adapté aux biens spécifiques.

Encadré 11 : optimisation du profit pour les producteurs de biens génériques

L'analyse des arbitrages réalisés par les producteurs de biens générique par rapport au temps rejoint les approches microéconomiques de la logistique. Deux aspects les caractérisent. L'entreprise produit un bien qui peut être stocké. L'entreprise dispose d'une fonction de coût logistique qu'elle souhaite minimiser, en contrôlant un risque de rupture de stock¹⁷¹. Si la demande est prévisible, l'entreprise est indifférente aux durées de transport et minimise ses coûts de transport indépendamment des durées de transport. Si la demande n'est pas prévisible, l'entreprise doit faire intervenir la durée de transport dans son programme de maximisation, puisque le risque de rupture de stock sera dépendant de la durée de réassort, ce qui implique que le stock de sécurité nécessaire pour éviter les ruptures de stock dépendra lui aussi de cette durée.

Cela peut être présenté dans le modèle traditionnel de Baumol et Vinod.

Considérons tout d'abord la situation plus simple étudiée par Baumol et Vinod où la demande est constante et parfaitement prévisible.

1 – Demande constante

Le coût logistique total (coût de transport et de stockage) s'exprime par la formule (notations des auteurs) :

$$C = rT + utT + a/s + wsT/2 \quad \text{avec :} \quad (6.1)$$

C coût logistique total annuel,

a coût de traitement des envois,

r coût de transport par unité de produit,

T quantité totale de biens transportés,

u coût d'immobilisation par unité de temps,

t durée de transport,

w coût de stockage par unité et par an,

s fréquence annuelle des envois (par exemple 0,01 s'il y a cent envois par an).

Le chargeur contrôle la variable s . Il choisit un s^* optimal, qui réintroduit dans la fonction de coût, donne :

$$C = rT + utT + (2awT)^{1/2} \quad (6.2)$$

Le bénéfice d'une baisse marginale de la durée de transport sera pour chaque unité égal à u .

Une situation plus complexe peut être envisagée lorsque la **demande n'est pas prévisible**.

2 - Demande non prévisible

Cette situation est reflétée par l'introduction de la fonction de coût logistique suivante :

¹⁷¹ Pour une analyse sur le "stock out", on pourra regarder : Palar [1988], Lippman et McCardle [1995], Anupindi et Bassok [1999] cités par Cachon et Harker [2002].

$$C = rT + utT + a/s + wsT/2 + wk((s+t).T)^{1/2}, \quad (6.3)$$

où le dernier terme se réfère au coût de constitution d'un stock de sécurité destiné à diminuer les recettes qui seraient perdues du fait de ruptures de stock. La notation k est introduite pour représenter la probabilité acceptée de rupture de stock.

La réduction des durées de transport comporte alors deux composantes : d'une part, la réduction des coûts d'immobilisation liée à la durée de déplacement ; d'autre part, la réduction des coûts du stock de sécurité. L'effet d'une réduction d'une unité de la durée de transport, pour l'ensemble des envois réalisé durant une année, sera égal à :

$$\delta C/\delta t = uT + \frac{wkT}{2((s+t)T)^{1/2}} \quad (6.4)$$

Pour un envoi, la diminution des coûts logistiques sera :

$$\frac{1}{s}(\delta C/\delta t) = \frac{1}{s} \left(uT + \frac{wkT}{2((s+t)T)^{1/2}} \right) \quad (6.5)$$

Le modèle de Baumol et Vinod fournit ainsi une formalisation de l'effet d'une diminution des durées de transport lorsque le producteur produit un bien qui peut être produit à l'avance et stocké.

Dans le cas des biens spécifiques, à la différence des biens génériques, la réactivité de l'entreprise, plutôt que sa capacité à gérer les stocks de manière optimale, devient sa variable d'action. Dans ce cadre, on peut représenter la fonction de profit en fonction des durées consacrées aux différentes opérations de production et de transport. Plus précisément cette fonction de profit a trois composantes :

- Une composante de coût de production qui dépend des durées de production.
- Une composante de recettes qui dépend du moment auquel le bien parvient à destination.
- Une composante de coût de transport, qui permet, contre paiement, de réduire la durée s'écoulant entre le départ et l'arrivée du bien. Si la production est spécifique aussi bien pour les inputs que pour les outputs, cette composante s'applique à deux phases du cycle de production :
 - les approvisionnements,
 - la distribution des biens.

Si les prix sont exogènes (l'entreprise est *price taker*) et que les quantités produites correspondent à celles qui minimisent le coût moyen minimal, cette entreprise aura comme fonction de profit unitaire :

$$\pi_e(t_0, t_d, t) = r(t_d + t) - cp(t_d - t_0) - cti(t_0) - cgte(t), \text{ avec :} \quad (6.6)$$

π_e ,	profit unitaire de l'entreprise,
$r(\cdot)$,	fonction de revenu unitaire selon le moment d'arrivée de la marchandise,
$cp(\cdot)$,	coût de production en fonction des durées de production et des quantités q ,
$cti(\cdot)$,	coût de transport des intrants,
$cgte(\cdot)$,	coût généralisé de transport des extrants,
t_d ,	moment auquel la marchandise part de l'entreprise,
t ,	durée de <i>transport</i> ,
t_0 ,	moment où les marchandises (intrants) arrivent dans l'entreprise.

La fonction de profit de l'entreprise comporte donc une composante de recettes en fonction du moment d'arrivée du bien, et trois composantes de coût variables en fonction des durées. Plus précisément.

- La fonction de recettes, $r(t_d + t)$, correspond au fait que les consommateurs peuvent avoir un consentement à payer pour recevoir le bien plus tôt.

- La fonction de coût de production, $cp(t_d-t_0)$, reflète le fait que les coûts de production ne sont pas invariants par rapport aux durées de production,
- La fonction $cgte(t)$ qui retourne un coût en fonction des durées de transport. Ce coût se décompose à son tour en plusieurs composantes :
 - $ct(t)$, coût de transport. Il s'agit du coût tel qu'il est facturé par le transporteur. Cette composante comprend en général une partie décroissante et une partie croissante : il existe une durée de déplacement qui minimise ce tarif.
 - $ci(t)$, coût lié à l'immobilisation des marchandises. Outre le tarif, l'expéditeur subit un coût lié à la dépréciation de sa marchandise pendant le déplacement, au risque de perte ou de dommage sur les biens qui peut être perçu comme proportionnel à la durée ou encore à l'intérêt sur la valeur de la marchandise, puisque durant son transport elle peut être traitée comme un actif immobilisé¹⁷².
$$cgte(t) = ct(t) + ci(t) \quad (6.7)$$

C'est-à-dire que les coûts de transport des extrants sont la somme du tarif du transporteur et des coûts d'immobilisation.

- La fonction $cti(t_0)$ correspond à la même logique que la fonction $cgte(t)$. Elle reflète la différence de prix des services de transport que l'entreprise utilise pour son approvisionnement¹⁷³. Par simplification, on néglige la composante de coût d'immobilisation sur les opérations d'approvisionnement.

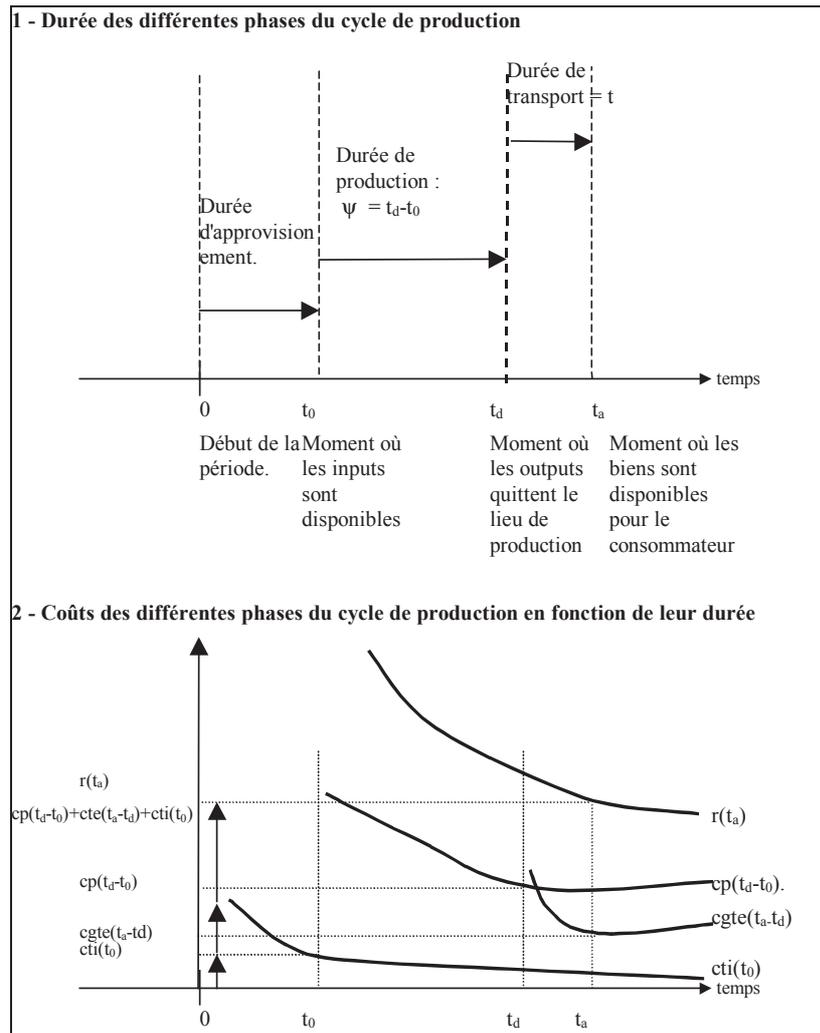
Dans ce cadre, le programme d'optimisation du producteur peut être représenté sur la Figure 34. Le volet 1 de la Figure 34 montre quelles sont les trois phases du cycle de production. Le volet 2 représente les différentes courbes de coût et de recettes auxquelles il doit faire face.

¹⁷² Pour éviter les doubles comptes entre $ci(t)$ et $r(t)$, une définition précise de chacun de ces termes est nécessaire. Une manière de faire cette distinction est de d'imputer à $r(t)$ ce qui correspond à une préférence pour le présent des consommateurs pour un bien inchangé et d'affecter à $ci(t)$ ce qui correspond à :

- une altération des caractéristiques physiques du bien : pourrissement, pertes, ou
- des contraintes internes de la part de l'entreprise (coût d'immobilisation au sens propre).

¹⁷³ Si le fournisseur, auquel s'adresse le producteur pour ses approvisionnements, a lui-même des coûts de production et d'approvisionnement différents en fonction des durées, la fonction $cti(\)$, permettra de résumer l'ensemble des arbitrages effectués par ce fournisseur. De cette manière on peut relier les coûts et recettes temporelles des différents producteurs qui représentent des maillons successifs dans la chaîne de production.

Figure 34 : représentation des différentes durées et des fonctions de coût et de recettes



L'entreprise doit positionner les moments optimaux (t_0 ; t_d ; t_a) en prenant en compte (i) la manière dont la durée totale de production pourra affecter ses recettes et (ii) la manière dont la durée dédiée aux différentes phases : approvisionnement, production et distribution, pourra affecter ses coûts.

Notons que, dans ce processus, les courbes cti et rt sont placées de manière exogène par rapport aux arbitrages de l'entreprise, tandis que la localisation des deux autres courbes, $cgte$ et cp , le long de l'axe du temps est endogène par rapport au processus de choix (par exemple une modification de t_0 translate horizontalement $cp(t_d - t_0)$).

On voit ainsi que les coûts de l'entreprise varient en fonction de la durée disponible pour produire un bien, et/ou du nombre de biens à produire dans une durée déterminée.

Conditions de maximisation du profit

On suppose par ailleurs que les différentes fonctions de coût et de recettes sont de classe C2. Les conditions de maximisation correspondent alors à :

$$\text{Max}_{(t_0, t_d, t_a)} \pi_e(t_0, t_d, t) = r(t_d + t) - cp(t_d - t_0) - cti(t_0) - cgte(t). \quad (6.8)$$

Les conditions de premier ordre¹⁷⁴ aboutissent à :

$$\begin{aligned} cti_{t_0}' &= -cp_{t_0}' = cp_{t_d}', \\ r_{t_d}' &= cp_{t_d}', \\ r_t' &= cgte_t'. \end{aligned}$$

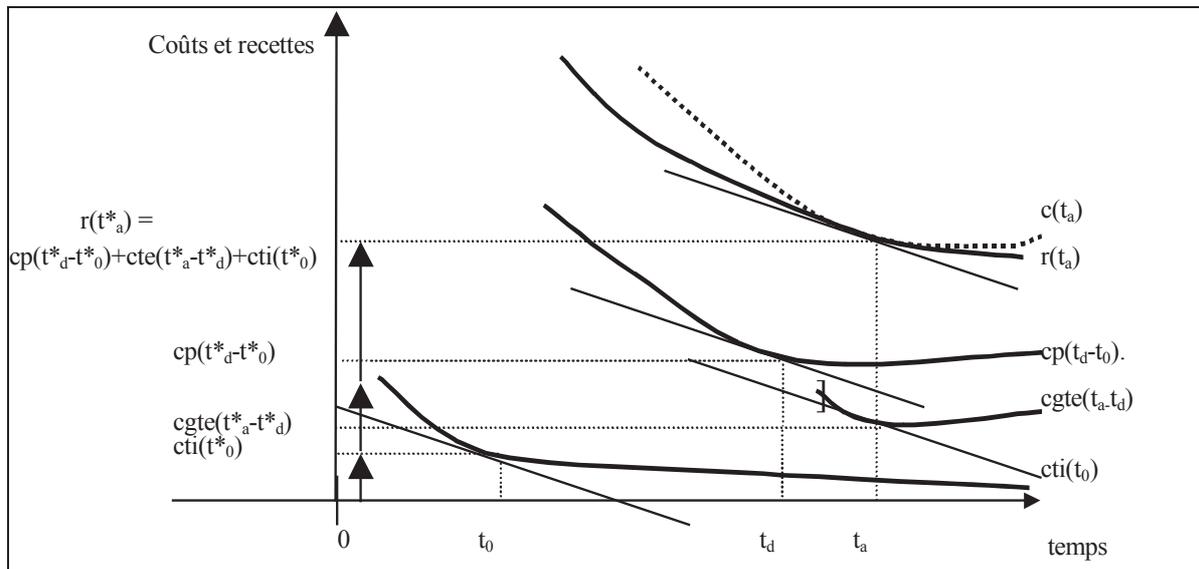
Soit encore l'égalité :

$$cti_{t_0}' = cp_{t_d}' = r_{t_d}' = r_t' = cgte_t' \quad (6.9)$$

Si r est décroissante l'ensemble de ces dérivées sera de signe négatif.

L'équation (6.9) fournit les **conditions marginales temporelles du producteur**. Ces conditions d'équilibre peuvent être représentées sur la Figure 35. Cette figure représente l'ensemble de dates (t_0 ; t_d ; t_a) ou de durées qui maximisent le profit de l'entreprise en égalisant les dérivées des différentes fonctions de coûts et de recettes. De manière intuitive le producteur diminue les durées consacrées aux différentes opérations jusqu'au point où gagner plus de temps sur une des opérations lui coûterait plus que cela ne lui rapporterait en termes de recettes. L'ensemble des dérivées par rapport aux différentes fonctions de coût et de recettes de l'entreprise s'égalisent. La pente de ces dérivées donne (au signe près) le consentement à payer des consommateurs pour anticiper la livraison de son bien. Elle indique également le surcoût que devrait supporter le producteur pour réduire la durée de l'une des trois phases de son cycle de production : approvisionnement, production ou transport.

Figure 35 : maximisation du profit par le producteur



Les conditions marginales du producteur ainsi définies prévaudront même dans les situations où il existe une contrainte sur la durée de déplacement. La courbe $ct(t)$, et donc la courbe $cgte(t)$ (on rappelle $cgte(t) = ct(t) + ci(t)$) sont définies par rapport à une durée de *transport* et non par rapport à une durée de déplacement. Cette courbe comprend donc déjà un mécanisme d'optimisation de la part des transporteurs. De la sorte, la contrainte sur les durées de *déplacement* ne sera pas perçue directement par les producteurs, mais elle interviendra dans leurs arbitrages.

¹⁷⁴ Sauf mention contraire on négligera les conditions de second ordre.

On peut également représenter sur le graphique (ici en pointillé) la courbe $c(t_a)$ qui représente la courbe de coût minimal du producteur pour mettre à disposition le bien à la date t_a :

$$c(t_a) = \min_{(t_0, t_d)} (ct_i(t_0) + cp(t_d - t_0) + cgte(t_a - t_d)) \quad (6.10)$$

Cette fonction est construite en choisissant t_0 et t_d de manière à minimiser le coût de t_a . Cette courbe représente le coût total de l'entreprise en fonction de la durée consacrée à l'ensemble de son cycle de production. Dans la situation optimale, la pente de cette courbe de coût temporel s'égalise, elle aussi, avec celle de la courbe de revenu temporel.

Enfin, la Figure 35 représente une situation où non seulement les coûts marginaux temporels s'égalisent aux recettes marginales, mais aussi où les coûts unitaires s'égalisent avec les recettes unitaires, une situation qui rappellera celle de l'équilibre sur l'unité marginale de produit.

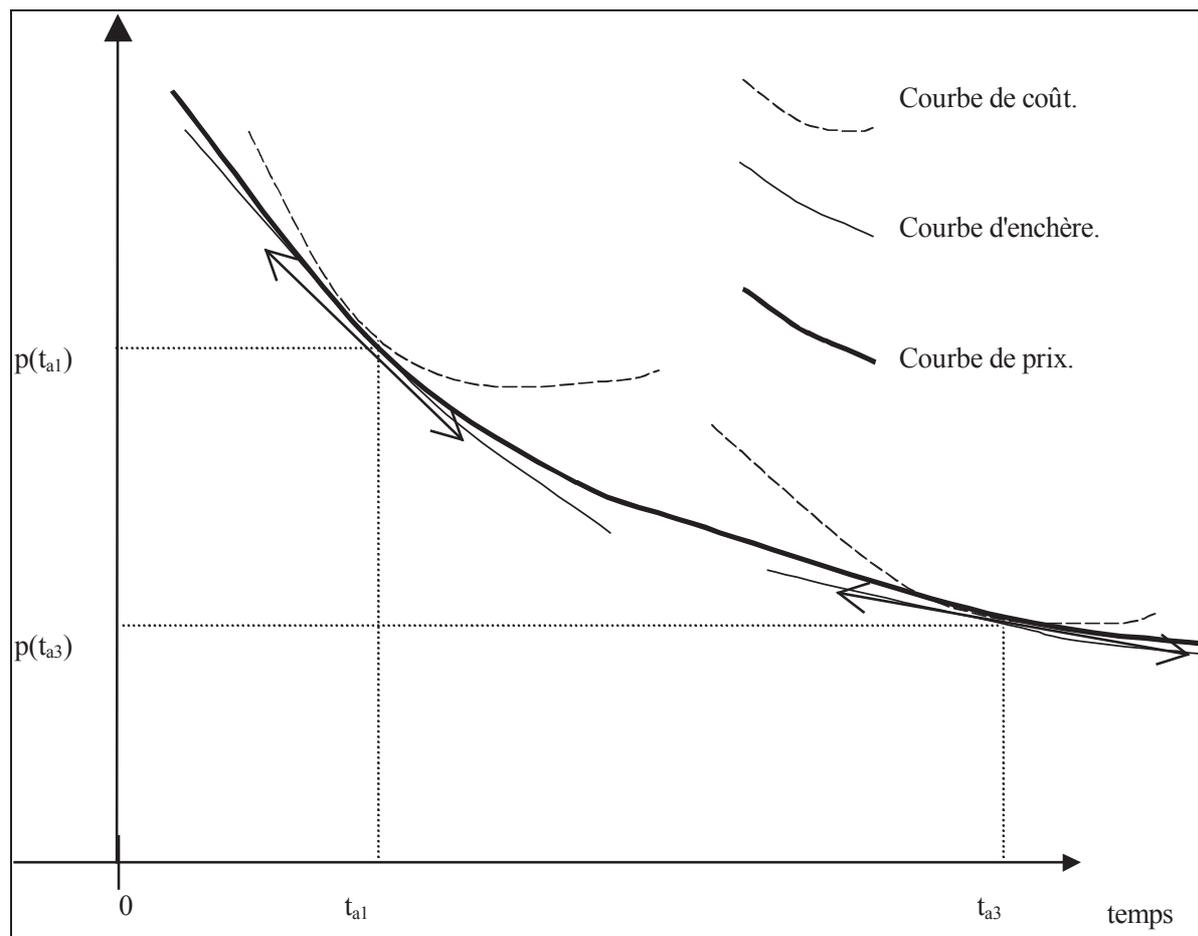
Il est donc possible à partir d'un programme de maximisation du profit de déterminer **des conditions marginales temporelles** qui traduisent la manière dont le producteur se localise sur ses courbes de coût en fonction des durées consacrées à différentes opérations. Les mécanismes d'arbitrages ainsi explicités peuvent être mis à profit pour :

1. proposer certains modes de représentation de l'équilibre du marché des transports, et
2. obtenir une expression formelle du consentement à payer des entreprises pour une diminution des durées de transport.
3. On passe en revue ces deux points.

Une représentation hédonique de l'équilibre

On représente un ensemble de courbes d'offre (prix offert pour une certaine date de disponibilité) variées, chacune d'entre elles correspondant à un niveau des costs-shifters défini par des dotations initiales diversifiées. On représente également un ensemble de courbes d'enchères qui fournissent le montant qu'un individu est prêt à payer pour acquérir un bien à la date t_a . On retrouve alors une représentation traditionnelle des appariements entre offreurs et demandeurs, à la seule différence près que les courbes d'enchère et de consentement à payer sont décroissantes et qu'elles ont la même concavité (ce dernier point rend par ailleurs plus difficile la lecture du graphique). On représente sur ce graphique deux transactions aux points $(t_{a1}, p(t_{a1}))$ et $(t_{a3}, p(t_{a3}))$.

Figure 36 : représentation hédonique de l'équilibre sur le marché



Le point important suggéré par la représentation hédonique est que, à l'équilibre, les coûts de production *marginaux* temporels s'égalisent avec les enchères *marginales des consommateurs* pour des gains de temps et ces deux chiffres s'égalisent également avec le prix *marginal* d'équilibre $p'(t_a)$. La courbe qui relie l'ensemble des points d'équilibre correspond au prix de la qualité t_a sur le marché hédonique $p(t_a)$.

Dans la situation d'équilibre représentée par le graphique ci-dessus et par l'équation (6.9), on constate que la contrainte sur les durées de déplacement n'est pas active. Cela correspond vraisemblablement aux situations les plus typiques pour les entreprises. La situation alternative, on pourrait dire "d'extrême urgence", dans laquelle le producteur butte sur la contrainte de durées de déplacement ne se justifie probablement que dans des cas très limités. Nous ne lui consacrerons pas de développement particulier¹⁷⁵.

¹⁷⁵ Si les durées de déplacement sont également contraignantes pour le producteur on aura :

$\text{Max } L(t_0; t_d; t; \lambda_t) = r(t_d + t) - cp(t_d - t_0) - cti(t_0) - cgt_e(t) + \lambda(t - d_{\min})$. Ce qui aboutira aux conditions de premier ordre : $r_{td}' = cte_t' - \lambda_t = cp_{td}' = cti_0' < 0$ (> 0 pour des variations négatives des quantités concernées). L'entreprise égalise la recette marginale temporelle, le coût marginal temporel de production, et le coût marginal temporel de ses inputs. Le multiplicateur associé à la contrainte est :

$\lambda_t = cte_t' - r_{td}' = cte_t' - cp_{td}' = cte_t' - cti_0'$. Chacun de ces termes étant négatif pour une augmentation de l'argument et positif pour une diminution des durées concernées. Si la contrainte sur la durée de déplacement est desserrée, l'entreprise productrice bénéficie des recettes marginales temporelles, et de la variation des coûts marginaux temporels par rapport à la durée de transport (qui dans ce cas est aussi la durée de déplacement).

Consentement à payer des producteurs pour une diminution des durées de transport

L'équation (6.9) permet également d'exprimer le consentement à payer des producteurs pour un gain de temps. On rappelle que $cgte(t)$ a deux composantes : le prix payé par l'entreprise au transporteur et le coût d'immobilisation de la marchandise. Les conditions de maximisation du profit peuvent donc se réécrire :

$$cti'_{t_0} = cp'_{td} = r'_{td} = r'_t = ct'_t + ci'_t \quad (6.11)$$

En isolant le terme ct'_t on peut écrire :

$$cti'_{t_0} - ci'_t = cp'_{td} - ci'_t = r'_{td} - ci'_t = r'_t - ci'_t = ct'_t \quad (6.12)$$

Si l'on considère en particulier la dernière de ces égalités. On aura, dans la situation typique : r'_t négatif (pour une augmentation des durées, les revenus décroissent), ci'_t positif (pour une augmentation des durées, les coûts d'immobilisations croissent). Cela impliquera alors que ct'_t sera négatif (pour une augmentation de t , le coût de transport décroît),

Aussi, pour une diminution des durées de *transport*, l'entreprise est prête à payer la somme de deux quantités positives : $-r'_t$ et ci'_t .

Ainsi que le suggèrent les autres termes de l'égalité (6.12), ce consentement à payer du chargeur s'égalise selon les différents usages alternatifs qui peuvent être faits de la durée libérée par une diminution des durées de transport : outre la réduction des coûts d'immobilisation, il sera pour l'entreprise équivalent, à l'optimum, d'augmenter ses recettes en anticipant la livraison de ses biens ou de diminuer ses coûts en augmentant la durée de transport de ses inputs ou encore de diminuer ses coûts en augmentant la durée de production.

Au final on peut exprimer le **consentement à payer des producteurs pour une diminution des durées de transport** par :

$$cap_e = -cti'_{t_0} + ci'_t = -cp'_{td} + ci'_t = -r'_{td} + ci'_t = -r'_t + ci'_t \quad (6.13)$$

La maximisation du profit par les producteurs fournit ainsi une expression formelle du consentement à payer des producteurs pour une diminution des durées de transport. Cet arbitrage ne fait cependant pas apparaître de manière explicite les durées de déplacement qui sont pourtant celles dont on souhaite mettre en évidence les effets.

Conclusion sur les entreprises

Pour les entreprises qui produisent un **bien générique**, les bénéfices liés à une diminution des durées de transport seront égaux à la réduction du coût d'immobilisation de la marchandise et à la réduction du stock de sécurité.

Les entreprises qui produisent un **bien spécifique**, quant à elles, maximisent leur profit en choisissant la durée affectée aux différentes opérations qui vont de l'approvisionnement à la livraison du client. Ils choisissent le moment où les intrants doivent être disponibles pour la production, ils choisissent la durée qu'ils affectent à la production, et enfin ils choisissent la durée de transport qu'ils contractualisent avec les transporteurs.

Dans ce cadre général, le chargeur optimise son profit en égalisant ses différents coûts marginaux temporels avec ses recettes marginales temporelles. Dans le cas le plus typique, la contrainte sur les durées de déplacement n'est pas saturée et le chargeur est indifférent à la durée de *déplacement* qui n'est

qu'une variable de production interne du transporteur, il ne connaît que la durée de *transport*. On peut alors en déduire le **consentement à payer pour une modification de la durée de transport**. Le transporteur sera prêt à dépenser pour gagner du temps, une somme au maximum égale à l'augmentation de recettes et/ou à la diminution de dépenses que ce gain de temps permettra. L'équation (6.12) indique que cette somme sera égale à la somme de

1. la diminution de ses coûts d'immobilisation,
2. le bénéfice que le producteur pourra obtenir en réutilisant cette durée :
 - soit en la restituant au destinataire (augmentation des recettes),
 - soit en augmentant sa durée de production (diminution des coûts),
 - soit en retardant l'arrivée de ses inputs (diminution de ses coûts d'approvisionnement).
 Ces trois différents usages de la durée ainsi libérée étant, à l'optimum, équivalents entre eux.

* *
*

On a ainsi mis en évidence les arbitrages réalisés par les chargeurs. Qu'en est-il pour les transporteurs ?

1.2 Maximisation du profit par les transporteurs

Le transporteur maximise son profit unitaire en contrôlant la durée de transport. Cette durée de transport affecte à la fois ses recettes et ses dépenses, ce qui justifie d'écrire le profit unitaire du transporteur comme :

$$\pi_i(t) = rt(t) - cpt(t) , \text{ avec :} \quad (6.14)$$

$\pi_i(t)$	fonction de profit,
$rt(t)$	fonction de recettes,
$cpt(t)$	fonction de coût.

Le chapitre précédent nous a permis de voir de quelle manière la fonction $cpt(t)$ intègre un processus d'optimisation car elle repose sur une combinaison des durées de déplacement et des durées hors déplacement qui minimisent les coûts. Ici encore, les caractéristiques de la fonction $cpt(t)$ dépendront de l'organisation logistique du transporteur et du caractère discrétionnaire ou non de certaines opérations hors déplacement.

La maximisation du profit, telle qu'elle est formulé par l'équation (6.14) devrait aboutir à t^* tel que $rt'(t^*) = cpt'(t^*)$. Toutefois cette solution néglige deux difficultés. D'une part, l'existence d'une contrainte sur les durées de déplacement disponibles pour les arbitrages des transporteurs. D'autre part, il faut prendre en compte la possibilité d'effets croisés entre durées de déplacement, durées hors déplacement et leurs coûts respectifs.

Maximisation sous contrainte par le transporteur

Examinons, en premier lieu, ce qu'il advient dans le cas le plus simple, où il existe une contrainte sur les durées minimales, mais où il n'existe pas d'effets croisés. Cette situation correspond à la maximisation du profit par un **tractionnaire**.

Le profit du tractionnaire exprimé par l'équation (6.14) doit alors être réécrit pour réintroduire dans le programme de maximisation du profit la décomposition de la durée de transport entre i (durée des

opérations hors déplacement) et d (durée des opérations de déplacement). Le profit du tractionnaire s'écrit alors :

$$\pi_i(i,d) = rt(d+i) - [cd(d) + chd(i)] \quad (6.15)$$

s.c. : $d > d_{\min}$ auquel est associé le multiplicateur de Lagrange λ_{trac} .

Ce qui donne : $\text{Max } L(d, i, \lambda_{\text{trac}}) = rt(d+i) - [cd(d) + chd(i)] + \lambda_{\text{trac}}(d - d_{\min})$.

Les conditions de premier ordre impliquent :

$$L'_d = 0 \Rightarrow -rt'_d(d+i) + cd'_d(d) = \lambda_{\text{trac}}$$

$$L'_i = 0 \Rightarrow chd'_i(i) = rt'_i(d+i)$$

$$L'_{\lambda_{\text{trac}}} = 0 \Rightarrow d = d_{\min}$$

Or, $rt'_d(d+i) = rt'_i(d+i)$ (cela n'est possible que parce que $(d+i)$ est une somme simple des termes i et d).
Donc :

$$d^* = d_{\min} \quad (6.16)$$

Les durées de déplacement sont à leur minimum (contrainte saturée).

$$chd'_i(i^*) = rt'_i(i^* + d_{\min}) \quad (6.17)$$

Les coûts marginaux des durées pour les opérations sans déplacement s'égalisent aux revenus marginaux :

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{trac}} &= cd'_d(d_{\min}) - chd'_i(i^*) \\ &= cd'_d(d_{\min}) - rt'_d(d_{\min} + i^*) \end{aligned} \quad (6.18)$$

Le multiplicateur λ_{trac} nous indique de quelle manière le profit du tractionnaire augmente lorsque la durée minimale se *réduit*. Deux effets se combinent :

- Le coût de déplacement est modifié. Si l'on rappelle que $cd(d)$ est décroissante par rapport à d puis croissante, on voit que $cd(d)$ peut être augmenté ou diminué lorsque d_{\min} *diminue* selon le versant de la courbe $cd(d)$ sur lequel se trouve le point de troncature d_{\min} . Dans le cas général, du moins pour le mode routier, la *baisse* de d_{\min} permettra une *diminution* de $cd(d)$.
- La durée de déplacement ainsi économisée peut être utilisée pour :
 - augmenter les revenus en offrant un service plus rapide,
 - diminuer le coût des opérations hors déplacement en augmentant le temps qui y est consacré.
 Ces deux utilisations étant équivalentes entre elles dans la situation optimale.

En outre, l'équation (6.18) nous indique que la contrainte associée au multiplicateur λ_{trac} , devient inactive lorsque :

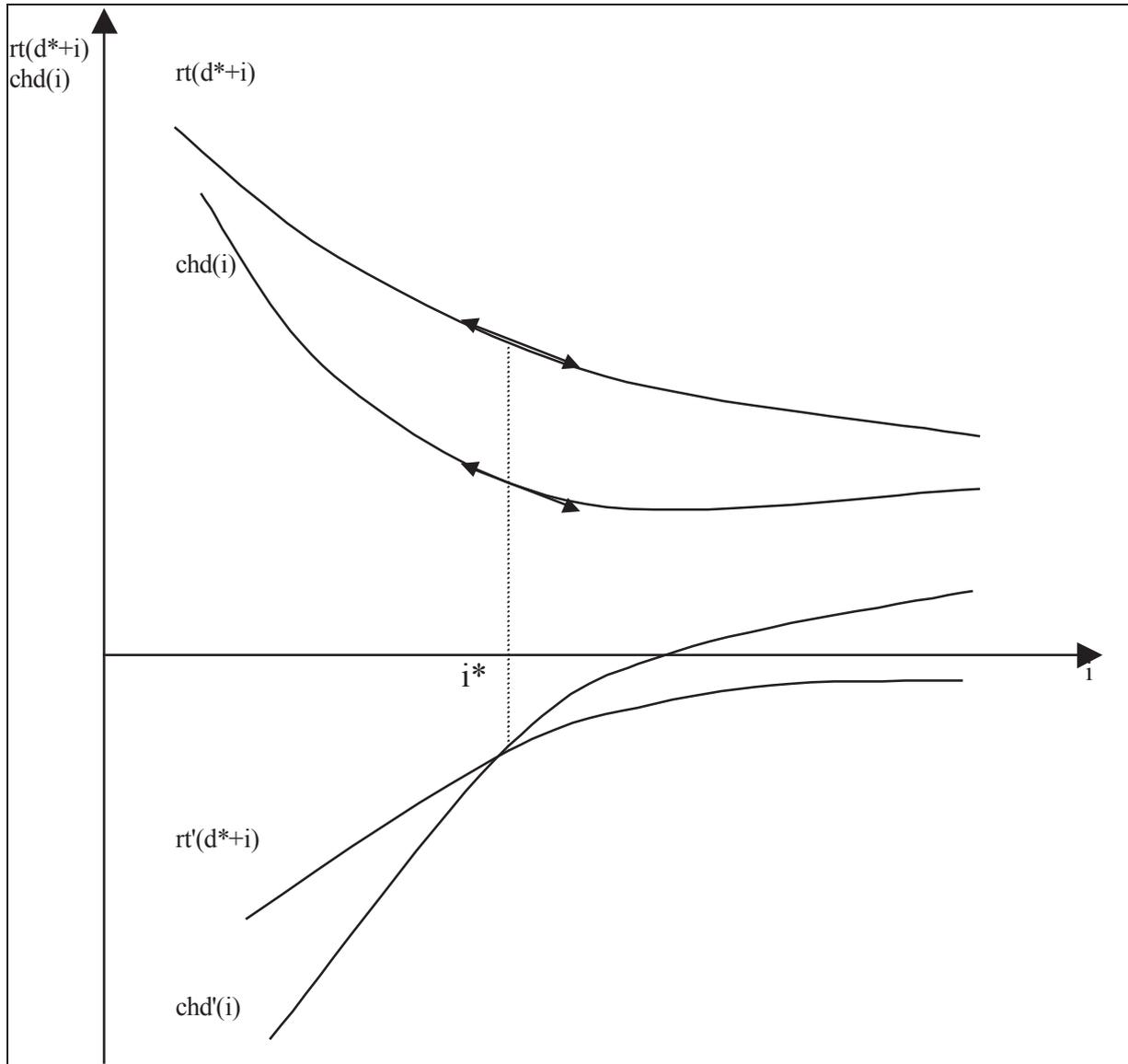
$$cd'_d(d_{\min}) - chd'_i(i^*) = cd'_d(d_{\min}) - rt'_d(d_{\min} + i^*) = 0. \quad (6.19)$$

Lorsque d_{\min} diminue, $cd(d_{\min})$ diminue et peut devenir négative : les coûts de déplacement deviennent alors décroissants en fonction des durées et donc croissants pour des gains de temps. Le transporteur n'a intérêt à diminuer sa durée de déplacement que jusqu'au point où les coûts supportés en diminuant les différentes durées (hors déplacement et déplacement) restent inférieurs à l'augmentation des revenus permise par un transport plus rapide.

La Figure 37 indique de quelle manière le transporteur choisit i^* , durée hors déplacement optimale, lorsque la durée de déplacement optimale est $d^* = d_{\min}$. Sur cette figure sont reportées outre les courbes rt

et chd et leurs dérivées rt'_i et chd'_i , pour une situation où $chd_i'' > r_i'' > 0$ ¹⁷⁶. On observe dans le cadran supérieur que la situation de profit maximal correspond au point i^* , où les tangentes des courbes de revenu et de coût sont parallèles. Dans le cadran inférieur, cette situation est représentée, ainsi que l'expriment les conditions de premier ordre, par le point d'intersection des dérivées rt'_i et chd'_i .

Figure 37 : choix d'une durée hors déplacement optimale



On décrit ainsi les conditions de maximisation du profit pour un tractionnaire. Cette situation est cependant restrictive puisqu'elle néglige l'existence d'effets croisés entre les durées hors déplacement, les durées de déplacement et leurs coûts respectifs.

On représente dans l'Encadré 11 ci-dessous la situation si l'on considère un **opérateur logistique** qui peut utiliser des effets croisés entre les coûts de déplacement et les coûts des opérations hors déplacement i.e. équation (5.2).

¹⁷⁶ Si $0 < chd'' < r''$, alors l'optimum se trouve au point $i^* = 0$. Nous reviendrons sur ce cas particulier p. 265.

Encadré 12 : maximisation du profit par un opérateur logistique

Le programme de maximisation du profit devient :

$\text{Max } L(d, i, \lambda_{\text{opér}}) = rt(d+i) - [cd(d,i) + chd(d,i)] + \lambda_{\text{opér}}(d - d_{\text{min}})$. Soit

$$L'_d = 0 \Rightarrow -rt'_d(d^*+i^*) + cd'_d(d^*,i^*) + chd'_d(d^*,i^*) = \lambda_{\text{opér}}$$

$$L'_i = 0 \Rightarrow cd'_i(d^*,i^*) + chd'_i(d^*,i^*) = rt'_i(d^*+i^*)$$

$$L'_{\text{opér}} = 0 \Rightarrow d^* = d_{\text{min}}$$

$\lambda_{\text{opér}}$ fournit, en outre, une formulation des gains des opérateurs logistiques pour une modification marginale des durées de *déplacement*. L'augmentation de profit créée par le desserrement de la contrainte sur les durées minimales est alors composée de l'augmentation des recettes de transport et de l'effet de la diminution des durées minimales sur les coûts (hors déplacement et en déplacement). En termes de consentement à payer pour une diminution des durées de déplacement, cela fournit :

$$\text{cap}_{\text{opér}} = -rt'_d(d_{\text{min}}+i^*) + cd'_d(d_{\text{min}},i^*) + chd'_d(d_{\text{min}},i^*) \quad (6.20)$$

Conclusion pour les transporteurs

On met ainsi en lumière la manière dont les transporteurs, qu'il s'agisse de tractionnaires ou d'opérateurs logistiques maximisent leur profit.

- Les transporteurs égalisent les revenus marginaux d'une diminution des durées avec les coûts marginaux de cette diminution.
- Dans ce processus d'optimisation, ils sont contraints par l'existence d'une durée de déplacement minimum.
- Dans le cas typique du transport routier, cette contrainte sera située sur la partie croissante de la courbe de coût de déplacement (croissante en fonction des durées, décroissante pour des gains de temps).
- Si la contrainte d_{min} n'est pas active la maximisation du profit par le transporteur peut l'amener à pratiquer une vitesse supérieure à celle qui minimise ses coûts de déplacement. Mais l'existence d'une contrainte étant assez générale, du moins pour le mode routier, il est rare que les transporteurs ne soient pas contraints par cette durée minimale
- Au point de profit maximal, sous contrainte des durées offertes par le réseau, le coût marginal d'une réduction des durées hors déplacement s'égalise avec le revenu marginal temporel, tandis que les durées de déplacement sont portées au niveau minimum physiquement réalisable (contrainte saturée).
- Les modifications apportées au réseau, lorsqu'elles permettent une augmentation des vitesses de circulation, permettent de se rapprocher de la vitesse optimale, le plus souvent dans la partie décroissante (en fonction des durées) de la courbe de coût de déplacement.
- Dans ce cadre, i^* et t^* deviennent des fonctions de d_{min} . L'équation (6.17) montre que lorsque les durées minimales de déplacement sont modifiées, le transporteur doit modifier i^* pour retrouver les conditions marginales temporelles de maximisation du profit. Par exemple, pour le tractionnaire on peut écrire : $i^* = i^*(d_{\text{min}})$ tel que $chd'_i(i^*) = rt'_i(i^*+d_{\text{min}})$; et $t^* = t^*(d_{\text{min}}) = d_{\text{min}}+i^*(d_{\text{min}})$.
- Lorsque les durées de déplacement minimales sont réduites, la modification de profit pour le transporteur dépasse les seules réductions de coût de déplacement. Le **consentement à payer des transporteurs** pour un gain de temps de *déplacement* peut alors s'écrire :

$$\begin{aligned} - \text{pour un tractionnaire :} \quad \text{cap}_{\text{trac}} &= cd'_d(d_{\text{min}}) - chd'_i(i^*) & (6.18) \\ &= cd'_d(d_{\text{min}}) - rt'_d(d_{\text{min}}+i^*). \end{aligned}$$

$$- \text{pour un opérateur logistique : } \text{cap}_{\text{opér}} = -rt'_d(d_{\text{min}}+i^*) + cd'_d(d_{\text{min}},i^*) + chd'_d(d_{\text{min}},i^*) \quad (6.20)$$

On a ainsi établi de quelle manière les producteurs et les transporteurs vont se positionner sur la courbe de coût en fonction des durées qu'ils consacrent à leurs différentes opérations. Il reste alors à unir ces deux processus dans une représentation de l'équilibre du marché.

1.3 Equilibre concurrentiel du marché des transports

On se place dans une situation d'équilibre concurrentiel sur le marché des transports. Cette situation permet tout d'abord de simplifier les notations. Cela permet, en outre, de représenter l'équilibre sur le marché.

Notations

En termes de notations l'équilibre a deux conséquences : d'une part, une *égalité comptable* : les fonctions de revenus des transporteurs et de coût des transports pour les producteurs sont identiques,

$$rt(t) = ct(t). \quad (6.21)$$

D'autre part, si l'on se place dans une situation concurrentielle, les marges unitaires des transporteurs s'annulent, les coûts de production des transporteurs s'égalisent à leur revenus, soit :

$$cpt(t) = rt(t), \quad (6.22)$$

qui retranscrit l'égalité entre les coûts de production des transporteurs et leurs revenus¹⁷⁷.

On a alors, en outre, égalisation entre les coûts de production du transport et les coûts des transports pour les chargeurs :

$$cpt(t) = ct(t), \quad (6.23)$$

On pourra alors utiliser indifféremment dans la suite de cette analyse les deux notations.

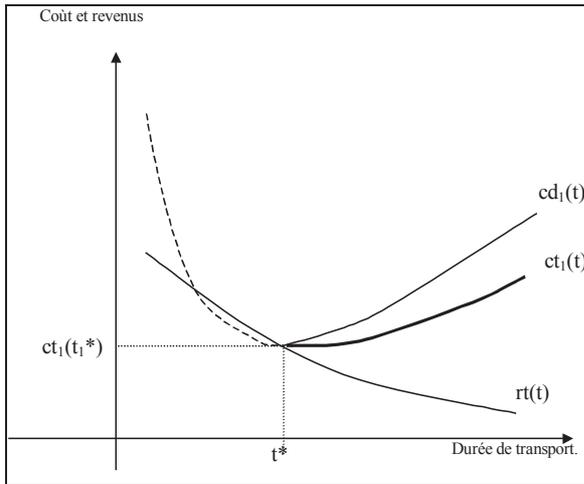
Représentation graphique des transactions

On peut représenter graphiquement, sur la Figure 38, la situation d'équilibre ainsi décrite. Le volet (a) de cette figure représente une situation d'équilibre pour un *tractionnaire sans contrainte*. Celui-ci a une courbe de coût de transport monotone croissante. Dès lors les transactions pourront avoir lieu au point de troncature de la courbe $ct(t)$. Le volet (b) de la Figure 38 représente une autre situation, celle de *l'opérateur logistique contraint*. Dans ce cas, les transactions auront lieu (si la courbe de recettes $rt(t)$ est décroissante) dans la partie décroissante de la courbe $ct(t)$.

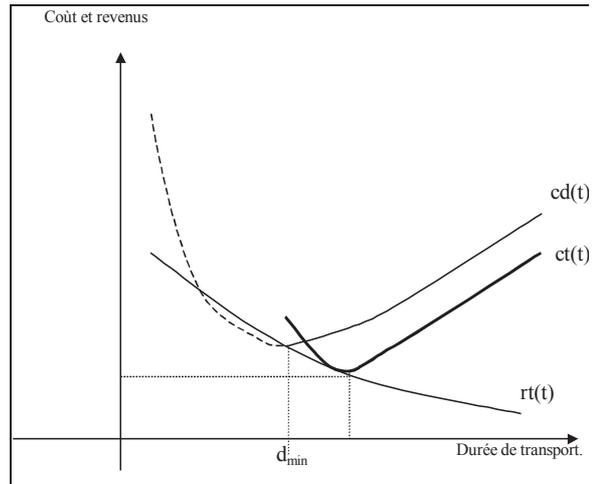
¹⁷⁷ Maintenir jusqu'à ce point des notations différentes a un aspect artificiel. Nous nous en sommes toutefois tenus à ces notations pour permettre également un traitement, dans ce cadre formel, d'une situation de concurrence imparfaite.

Figure 38 : égalisation des coûts du transporteur et de ses revenus

a – tractionnaire sans contrainte

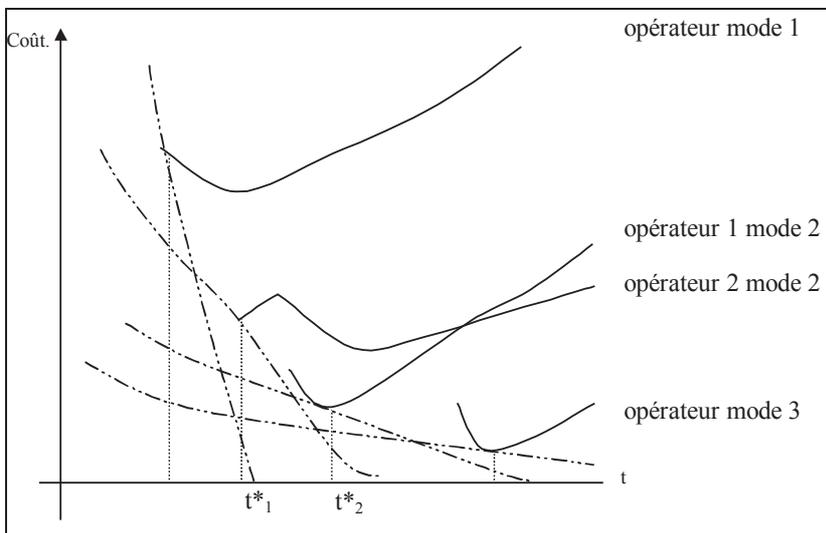


b – opérateur logistique contraint



On peut également représenter, sur la Figure 39, l'équilibre du marché simultanément pour différents couples d'offeurs et de demandeurs. Dans ce cas, on aura des transactions qui s'effectueront en plusieurs points du plan $(ct(t),t)$. Ces points pourront correspondre à plusieurs types de transporteurs, ils pourront correspondre à des points de troncature des courbes de coût si le transporteur correspond à la typologie "tractionnaire sans contrainte", ou à la typologie "opérateur logistique optimisateur" (cf. typologie présentée dans le Tableau 32, p. 208).

Figure 39 : transactions sur le marché des transports pour plusieurs types d'entreprises et de transporteurs



* *
*

On montre de cette manière comment les entreprises et les transporteurs déterminent le couple durée de production, coût de production qui maximise leur profit. Ceci permet, dans un second temps, de regarder de quelle manière ces agents économiques sont affectés lorsque les durées de déplacement minimales offertes sur le réseau sont modifiées.

C'est aux effets de ces modifications que nous nous intéressons dans la partie suivante.

2 Effets d'une modification des durées minimales de déplacement

On suppose que les durées de déplacement (contraignantes) sont diminuées de manière exogène. On passe de d_{\min} à d'_{\min} (on supposera $d'_{\min} < d_{\min}$). On peut alors analyser les effets de cette modification pour les transporteurs puis pour les producteurs.

On s'intéresse en premier lieu aux transporteurs. Ce sont les premiers affectés par les durées de déplacement.

2.1 Effets des gains de temps pour les transporteurs

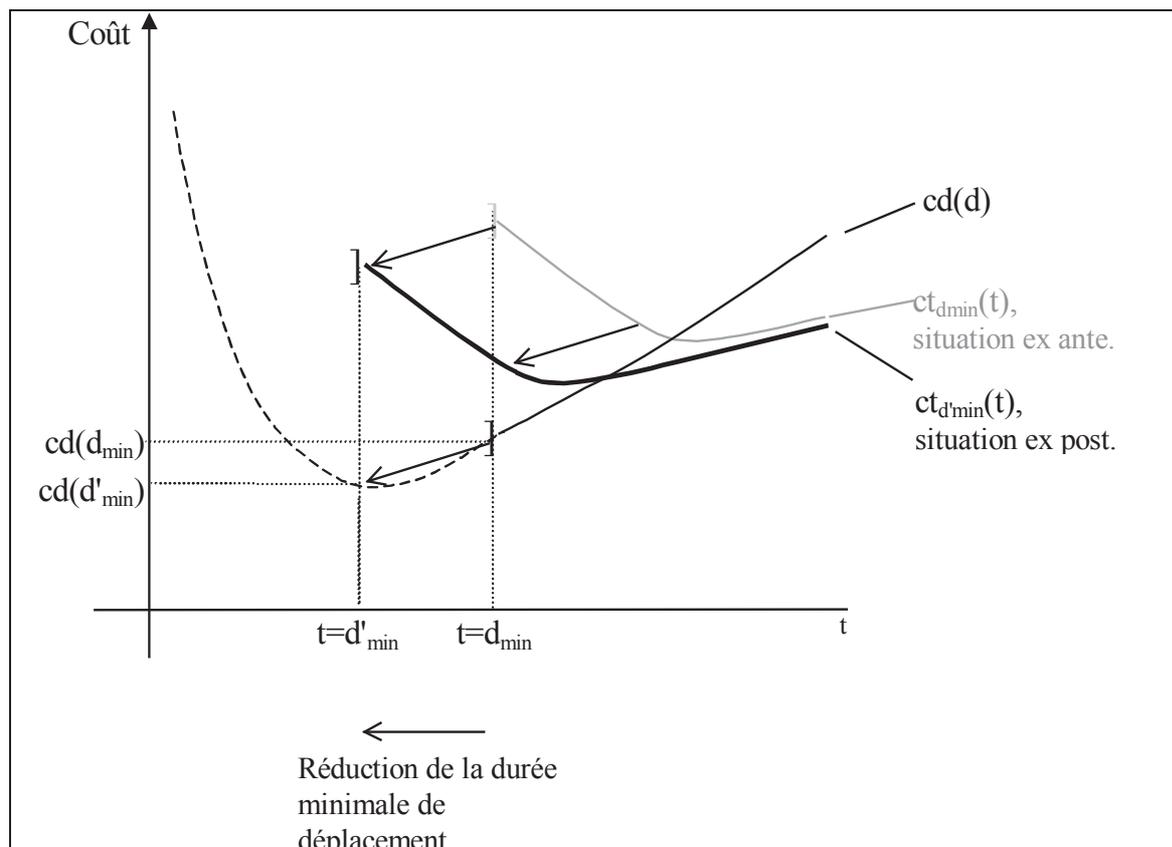
Tout d'abord, on détermine comment la courbe de coût de *transport* est modifiée lorsque les durées de déplacement minimales sont diminuées. On peut ici reprendre les catégories de transporteurs établies précédemment (cf. p. 211).

En fait, la réduction des durées minimales de déplacement peut amener à deux types de modifications :

- soit une simple *translation* de la courbe de coût. C'est le cas lorsque l'on suppose l'indépendance entre les durées de déplacement, les durées hors déplacement et leurs coûts respectifs (absence d'effets croisés).
- soit une *translation* accompagnée d'une *déformation* de la courbe. Tel est le cas lorsque l'on suppose des effets croisés entre durées de déplacement et durées hors déplacement. Dans cette situation, en effet, la réduction des durées de déplacement peut également affecter les coûts des opérations hors déplacement.

La première de ces situations est représentée sur la Figure 40.

Figure 40 : translation de la courbe de coût de transport en cas de baisse de d_{\min} (situation d'un "tractionnaire contraint")



Sur cette figure, on représente une courbe de coût de déplacement $cd(d)$ tronquée en un point d_{\min} . On représente également, en grisé, une courbe de coût de transport $ct(t)$ qui est adossée au point de troncature d_{\min} . On représente aussi un second point de troncature $d'_{\min} < d_{\min}$. Lorsque les durées de déplacement minimales passent de d_{\min} à d'_{\min} , le point de troncature sur lequel est adossée la courbe $ct(t)$ se déplace. La courbe $ct(t)$ est traduite en suivant le déplacement de ce point de troncature.

En fait, le transporteur profite de la possibilité de réduire ses coûts de déplacement en utilisant la partie de la courbe de déplacement qui était auparavant indisponible. De plus, puisque sa courbe de coût de *transport* est "adossée" au point de troncature de la fonction de coût de *déplacement*, cette courbe est traduite le long de la courbe de coût de déplacement. Dans le cas que nous avons désigné par les termes "tractionnaires", on assistera simplement à une translation, tandis que dans les autres cas (opérateur logistique) on pourra assister à une déformation, et non uniquement une translation, de la courbe de coût de transport. Ces différentes situations sont présentées sur le Tableau 38 qui reprend la typologie établie précédemment (Tableau 34) et détaille les effets d'une diminution de d_{\min} sur la courbe de coût de transport pour les 4 situations typiques.

Tableau 38 : effets d'une diminution de la durée minimale sur la courbe de coût des transporteurs : typologie.

Pas d'effet croisé		Effets croisés	
Opérations obligatoires	Pas d'opérations obligatoires	Opérations obligatoires	Pas d'opérations obligatoires
Tractionnaire contraint	Tractionnaire sans contrainte	Opérateur logistique contraint	Opérateur logistique optimisateur
Effet d'une modification de d_{\min} .			
translation	translation	translation et déformation	translation et déformation
La courbe $ct(t)$ est tradlatée le long de la courbe $cd(d)$ (vers la gauche et dans le cas typique vers le bas)		La courbe $ct(t)$ est tradlatée en suivant le déplacement du point de troncature $cd(d_{\min})$. Elle peut en même temps être déformée car le coût des opérations hors déplacement dépend de la durée de déplacement.	
Modification des coûts de transport.			
Tant que le transporteur aura intérêt à diminuer les durées de déplacement, la diminution du coût sera : $\delta cd(d_{\min})/\delta d_{\min}$		Tant que le transporteur aura intérêt à diminuer les durées de déplacement, le coût sera abaissé : $\delta cd(i^*, d_{\min})/\delta d_{\min} + \delta chd(i^*, d_{\min})/\delta d_{\min}$	

Ce tableau fait apparaître la difficulté plus importante que l'on a à analyser l'effet d'une diminution des durées de déplacement dans le cas d'un opérateur logistique. Dans ce cas, on doit en effet prendre en compte les effets croisés entre coûts de déplacement et coûts des opérations hors déplacement. Face à cette difficulté l'alternative pour l'analyste est la suivante. Soit on suppose que la réduction des durées de déplacement diminue les coûts des opérations hors déplacement et on choisit de négliger ces effets en précisant que la courbe de durées de transport tradlatée correspond à un majorant pour la nouvelle courbe de coût de transport. Soit on suppose que la réduction des durées de déplacement peut avoir des effets de signe indéterminé sur les coûts hors déplacement, et dans ce cas, on doit admettre qu'en représentant les effets de la baisse de d_{\min} par une translation de $ct(t)$ on procède à une simplification.

Il y a probablement sur ce point matière à analyses complémentaires. Cependant l'hypothèse de translation de la courbe de coût de transport permet de reconstituer les effets principaux d'une modification des durées de déplacement. On propose donc de s'en tenir à cette simplification.

On montre ainsi de quelle manière la courbe de coût de transport $ct(t)$ des transporteurs est modifiée lorsque le point de troncature de la courbe $cd(d)$ est déplacé. C'est par cette modification de $ct(t)$ que les gains de temps vont affecter les autres agents économiques. Quels sont alors les effets de cette modification sur l'équilibre du marché des transports ?

2.2 Effets sur les producteurs et les consommateurs

On reste ici dans le cas des biens **spécifiques**. La Figure 41 nous montre de quelle manière le producteur modifie ses arbitrages lorsque la modification des durées minimales de déplacement affecte la courbe de coût de transport.

La première partie de la Figure 41 montre quelle est la situation optimale de l'entreprise confrontée à la courbe de coût de transport ex ante. On fait également apparaître la courbe de coût de déplacement (en

pointillé), ainsi que la durée minimale d_{\min} et la courbe $cgte(t) = ci(t) + ct(t)$ ¹⁷⁸, tels qu'ils prévalent dans la situation *ex ante*.

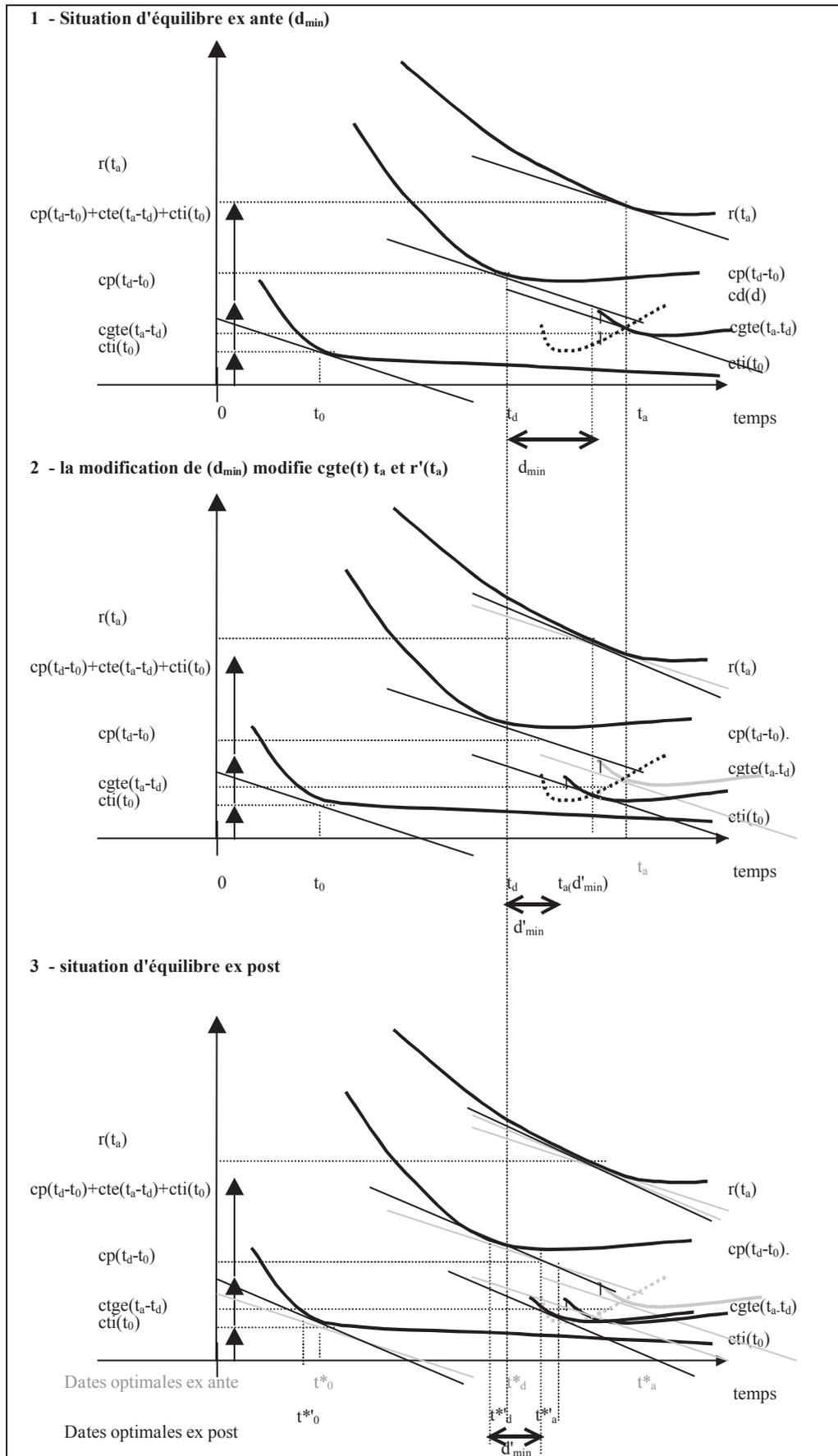
La seconde partie du graphique montre la translation de la courbe $cgte(t)$ représentant le *coût généralisé de transport des extrants* dans la situation où la durée de déplacement minimale est diminuée. La courbe $cgte(t)$ a deux composantes $ci(t)$ et $ct(t)$. La seconde composante est translatée le long de la courbe de $cd(d)$. Cela a deux conséquences :

1. les coûts de transport sont réduits¹⁷⁹.
2. sauf restrictions particulières, cette situation n'est pas d'équilibre. En effet, dans la nouvelle situation, les conditions de parallélisme entre les tangentes des courbes de coût et la courbe de prix n'est plus respectée. Si, comme sur la Figure 41, la convexité des différentes courbes de coût du producteur ($cp(t_d-t_0)$, $cgte(t)$, $cti(t_0)$) est plus importante que celle de la courbe de prix $r(t_a)$, les producteurs peuvent améliorer leur situation en diminuant la durée de l'ensemble de leur cycle de production. Cette évolution augmentera leurs recettes plus que leurs coûts, jusqu'à ce que les dérivées des différentes fonctions présentes dans l'arbitrage s'égalisent à nouveau. La troisième partie de la Figure 41 montre comment le producteur réadapte la durée consacrée aux différentes phases approvisionnement-production-distribution pour reconstituer les conditions marginales temporelles correspondant à la maximisation du profit.

¹⁷⁸ Pour ne pas alourdir le graphique, nous ne faisons pas figurer $ci(t)$ sur celui-ci. $ci(t)$ est toutefois présent dans la courbe $cgte(t)$.

¹⁷⁹ On retrouve là un effet qui est pris en compte dans l'approche par les coûts telle qu'elle est utilisée dans l'évaluation de projets. Dans un repère prix-quantité cette transformation peut correctement être représentée par un déplacement de la courbe d'offre de déplacement, ce qui peut alors donner lieu à l'application des méthodes de calculs basés sur la modification du surplus, semblables à celles utilisées dans les circulaires ministérielles en France.

Figure 41 : effets d'une réduction de d_{\min} (effets à court terme sans modification du prix du bien)



Ce mode de représentation des modifications de l'équilibre sur le marché suggère plusieurs observations.

1. Les effets des réductions des durées de déplacement ne se réduisent ni à la baisse des coûts des transporteurs, ni à la somme de cette baisse et de la baisse des coûts d'immobilisation.
2. Un point important de ces transformations, est qu'elles ont des conséquences sur le marché des biens de consommation finale, et cela même dans le cas où les contraintes de déplacement ne sont pas actives ni pour le producteur ni a fortiori pour le consommateur.

Il est ainsi possible d'analyser les conséquences indirectes d'une modification des durées de déplacement sur les producteurs et sur les consommateurs finaux. Ce traitement, illustré graphiquement dans un cas relativement simple (absence d'effets croisés entre durées de déplacement, durées hors déplacement et leurs coûts respectifs, fonction de prix hédonique monotone décroissante, spécificité à la fois des intrants et des extrants) mériterait d'être proposé et discuté pour de nombreuses autres situations. Certaines de ces situations peuvent maintenant être analysées.

2.3 Discussion

On examine tout d'abord dans deux cas particuliers. En second lieu, on examine de quelle manière le traitement proposé doit s'analyser différemment pour des modifications de court terme ou de long terme.

Validité de l'approche par les coûts

On examine tout d'abord la situation où $\mathbf{r}(t_a)$ est de pente constante. Dans cette situation, la formation de l'équilibre ex-post est grandement simplifiée. La translation de la courbe de coût de transport, consécutive à une diminution de d_{\min} aboutit à une nouvelle date d'arrivée (t_a) qui est une situation d'équilibre puisqu'elle correspond à une pente $r_{t_a}'(t_a)$ inchangée. Dans cette situation, les conditions de parallélisme sont respectées dans la situation ex post sans que le producteur n'ait besoin de réajuster les durées des différentes phases de son cycle de production. Les conséquences d'une réduction des durées de déplacement minimales seront alors : une baisse des coûts de transports, une diminution des coûts d'immobilisation, et la satisfaction que les consommateurs finaux tirent d'une anticipation de la livraison du bien.

On considère une seconde hypothèse plus restrictive où la courbe $\mathbf{r}(t_a)$ se réduit à une droite horizontale. Cette hypothèse traduit une indifférence des consommateurs finaux à la date de livraison du bien. Dans cette hypothèse, la situation d'équilibre ex-ante est caractérisée par un ensemble de tangentes horizontales. La réduction des durées de déplacement minimales et la translation de la courbe de coût de transport, ont pour conséquence d'anticiper la date d'arrivée du bien. Comme dans le cas précédent, la situation ex-post est une situation d'équilibre qui ne nécessite pas d'ajustements supplémentaires. Les gains résultant du déplacement du point de troncature d_{\min} seront alors constitués par la baisse des coûts de transport et la baisse des coûts d'immobilisation. A la différence du cas décrit dans le paragraphe précédent, il n'y aura pas de gains pour les consommateurs puisque ceux-ci sont indifférents à la date de disponibilité du bien.

On note toutefois que dans les deux situations ainsi décrites, les modifications de la situation économique excèdent les réductions des coûts de déplacement qui sont habituellement prises en compte dans les procédures d'analyse coûts-avantages. Pour que cette dernière mesure rende compte de l'ensemble des modifications de l'équilibre sur le marché des biens transportés, il faudrait, en outre, que la fonction $ci(t_a - t_d)$ soit une droite horizontale. On note enfin que ces différentes situations sont ici présentées pour un "tractionnaire", c'est-à-dire en supposant l'absence d'effets croisés entre durées de déplacement et durées hors déplacement et leurs coûts respectifs. Le cas des opérateurs logistiques ferait apparaître d'autres effets, puisque la réduction des durées de déplacement peut affecter, dans cette configuration, le coût des opérations hors déplacement. On voit là apparaître une source supplémentaire de divergence entre les effets réels d'une modification des durées de déplacement et ceux pris en compte par l'approche basée sur les coûts.

Effets à long terme ou à court terme

Jusqu'à ce point, nous avons examiné des courbes de coût définies à court terme. Si la modification des durées minimales est perçue comme suffisamment pérenne pour justifier des arbitrages durables sur les paramètres de la production, des effets à long terme devront être pris en compte. Ces effets à long terme suivent toutefois la même logique que les effets à court terme à la différence près que des ajustements plus favorables pourront avoir lieu, ce qui signifie par exemple que le coût marginal temporel de long terme sera inférieur au coût marginal temporel de court terme. Ce point pourra faire l'objet d'analyses complémentaires plus détaillées.

* *
 *
 *

On voit ainsi de quelle manière une modification exogène des durées minimales de déplacement affecte les différents agents économiques concernés : elle provoque une translation (et parfois également une déformation) de la fonction de coût des transporteurs. Sur un marché concurrentiel cette modification affecte la courbe de coût généralisé de transport des extrants en fonction des durées à laquelle font face les *chargeurs*.

Cette représentation de l'équilibre permet de répondre à certaines des questions que nous avons citées dans l'introduction de ce travail concernant les effets d'une modification des durées de déplacement sur les différents agents économiques. Nous allons maintenant examiner un aspect particulier de ces mécanismes en examinant de manière plus précise comment les gains de temps sont "répercutés" par les transporteurs à leurs clients.

2.4 Equilibre sur le marché des transports : un multiplicateur de gains de temps ?

La question est alors de savoir comment les diminutions des durées minimales de déplacement seront répercutées sur la durée de la prestation complète de transport. En d'autres termes, le transporteur va-t-il internaliser les gains de temps où va-t-il les "transmettre" à son client ? On recherche alors quelles seront les nouvelles durées sans déplacement i^* .

On peut définir :

$$m = \frac{t-t'}{(d_{\min} - d'_{\min})}, \text{ avec :} \quad (6.24)$$

$m,$	multiplicateur de gains de temps,
$d_{\min}, d'_{\min},$	durées minimales de déplacement dans la situation ex ante et ex post,
t, t'	durée de transport dans les situations ex ante et ex post.

Si $m < 1$, alors le transporteur retient une partie des gains de temps pour son organisation interne. Si par contre $m > 1$, le transporteur agit comme un "multiplicateur de gains de temps". La réponse, comme nous le verrons dépend des propriétés de la fonction de revenu, On pourra distinguer plusieurs cas selon le signe de rt_i " (dérivée seconde de la fonction de revenu des transporteurs), et le sens de l'inégalité entre rt_i " et chd_i " (dérivée seconde de la fonction de coût des opérations hors déplacement).

On illustrera ce raisonnement dans la situation d'un **tractionnaire**, c'est-à-dire que, par simplification, on se placera dans la situation où les durées hors déplacement et les durées de déplacement n'ont pas d'effets croisés sur leurs coûts respectifs. Pour dénoter cette hypothèse on utilise l'indice "trac" et on note alors le multiplicateur par m_{trac} . On raisonne sur un envoi donné. Pour celui-ci les conditions de maximisation sont vérifiées dans les deux situations, c'est-à-dire que i et i' vérifient toutes les deux les

conditions marginales temporelles du tractionnaire fournies par l'équation (6.17). Soit (ce raisonnement vaut à l'optimum, mais par souci de lisibilité on négligera ici les notations i^* i^*) :

$$rt'(i+d'_{\min}) = chd'(i') \quad (6.25)$$

$$rt'(i+d'_{\min}) = chd'(i) \quad (6.26)$$

On note, en outre, que pour ne pas aboutir à une solution d'angle, doivent valoir des conditions de second ordre et notamment : $rt''(d_{\min} + i) < chd''(i)$; et ce pour le couple (i, d_{\min}) et pour le couple (i', d'_{\min}) .

En utilisant un développement de Taylor d'ordre 1 sur rt' et chd' (c'est-à-dire en arrivant à l'ordre 2 sur rt et chd) (6.25) devient :

$$rt'(i+d'_{\min}) + rt''(i+d'_{\min}).(i'-i) + \tau(i'-i) = chd'(i) + chd''(i).(i'-i) + \gamma(i'-i) \quad (6.27)$$

Et (6.26) devient :

$$rt'(i+d'_{\min}) + rt''(i+d'_{\min}).(d_{\min}-d'_{\min}) + \delta(i'-i) = chd'(i). \quad (6.28)$$

Si $(d_{\min}-d'_{\min})$ et $(i'-i)$ sont faibles et que l'on peut négliger les effets d'ordre strictement supérieur à 2, on peut faire disparaître $\tau(n)$, $\gamma(n)$ et $\delta(n)$ ¹⁸⁰. En faisant la différence entre les deux équations précédentes on obtient :

$$rt''(i+d'_{\min}).(i'-i) - rt''(i+d'_{\min}).(d_{\min}-d'_{\min}) = chd''(i).(i'-i) = - chd''(i).(i'-i) \quad (6.29)$$

$$(i'-i).[chd''(i) - rt''(i+d')] = rt''(i+d').(d_{\min}-d'_{\min}), \quad (6.30)$$

Si $rt''(i+d'_{\min}) \neq chd''(i)$, on peut écrire :

$$(i'-i) / (d_{\min}-d'_{\min}) = rt''(i+d'_{\min}) / [chd''(i) - rt''(i+d'_{\min})]. \quad (6.31)$$

Donc :

$$m_{\text{trac}} = \frac{t-t'}{(d_{\min}-d'_{\min})} = 1 + \frac{(i'-i)}{(d_{\min}-d'_{\min})} = 1 + \frac{rt''(i+d'_{\min})}{[chd''(i)-rt''(i+d'_{\min})]}. \quad (6.32)$$

L'équation (6.32) permet donc d'examiner de quelle manière le transporteur répercute, en fonction des caractéristiques de demande des producteurs, les modifications des durées minimales de *déplacement* sur les durées de *transport*. Comme on le voit, ce mécanisme résulte de l'interaction des caractéristiques de l'offre et de la demande. Il permet d'établir une typologie.

Le Tableau 39 présente les différentes situations que l'on peut rencontrer si l'on se place dans le cas typique où $chd'' > 0$ (fonction convexe). Ce tableau décrit quatre situations en fonction de la convexité ou de la concavité de la fonction de revenu des transporteurs (lignes) et en fonction du classement des dérivées secondes des fonctions de revenu des chargeurs et des coûts des opérations hors déplacement. Trois seulement des quatre situations ainsi définies sont cohérentes (la quatrième -en bas à droite- est contradictoire).

¹⁸⁰ Cette hypothèse est en réalité une simplification. Si r tend vers 0 pour des valeurs élevées de t , et si $r'' > 0$, alors $r''' > 0$. Cette complication sera ici négligée mais pourra être prise en considération dans d'autres travaux.

Tableau 39 : gains de temps de déplacement et gain de temps de transport : quatre situations types

	$chd > rt$	$chd < rt$
$rt > 0$. La fonction de revenu est convexe	$chd > rt > 0$ $m_{trac} > 1$ "multiplicateur de gain de temps"	$0 < chd < rt$ Solution d'angle : $i^* = i'^* = 0$ $m_{trac} = 1$ Les gains de temps hors déplacement sont épuisés dans la situation initiale "épuiement des gains de temps"
$rt < 0$. La fonction de revenu est concave	$chd > 0 > rt$ $m_{trac} < 1$ Situation avec "amortisseur de gains de temps"	$0 < chd$ et $chd < rt$ et $rt < 0$ Impossible

On constate ainsi que la rétrocession aux chargeurs des gains de temps dépend de la convexité relative des courbes de coût des opérations hors déplacement chd et de revenu des transporteurs rt . On peut alors tenter de déterminer quelle est la situation la plus vraisemblable. Pour cela on peut se référer à des résultats de nature théorique, ou heuristique ou encore à des résultats empiriques.

1 – On peut essayer de se baser sur les déterminants du consentement à payer des producteurs. L'équation (6.13) nous fournit une expression du consentement des chargeurs pour un gain de temps. On peut en déduire que la convexité de la fonction rt dépendra donc de :

- la convexité des fonctions de coût de production et
- la convexité des fonctions de recettes du producteur selon le moment d'arrivée de la marchandise.

Or, si l'on dispose de certains éléments sur la convexité des fonctions de coûts de production, il n'en est pas de même pour les fonctions de recettes des producteurs en fonction du moment d'arrivée des biens. En l'absence de ces éléments, il est difficile de trouver, dans l'analyse du consentement à payer des chargeurs, des éléments qui permettent de statuer.

2 - De manière heuristique, on a coutume de considérer l'existence de seuils dans les consentements à payer des producteurs. Les producteurs peuvent souhaiter disposer de leurs biens à un moment précis. Cela peut correspondre à une situation de "tout ou rien" ou, plus vraisemblablement, à un "tout ou rien" amorti ("*Smoothed All or Nothing*"), dont les coudes sont amortis par rapport à une fonction tout ou rien au sens strict. Dans ce cas, il est probable que la dérivée seconde r'' ne soit pas de signe constant.

3 – Le dernier élément provient de diverses collectes de données. Dans le transport de voyageurs, on observe souvent que la valeur unitaire des gains de temps est moins importante pour des faibles gains de temps que pour de grands gains de temps. Les résultats en la matière sont plus rares en ce qui concerne les transports de *marchandises*, mais on peut toutefois citer Mackie et alii [2001] qui trouvent sur la base de l'étude "Valeur du Temps" de Hague Consulting Group [1995] que les gains de temps de transports de durée faible ont une valeur inférieure, voire parfois négative, par comparaison avec celles de gains plus importants. Cela suggère, du moins si l'on ignore les valeurs du temps négatives, une fonction $r(t)$ convexe.

Les résultats empiriques disponibles suggèrent que les fonctions de revenu des transporteurs seront convexes. Si l'on croise cette information avec celle selon laquelle on aura probablement $chd > r$, on peut alors suggérer que la situation de multiplicateur de gains de temps correspond à la première colonne et à la première ligne du Tableau 39 : "accélérateur de gains de temps".

Cette indication nécessiterait toutefois d'être consolidée par d'autres éléments et notamment par une connaissance de la courbe de consentement à payer des consommateurs finaux.

3 Conclusions

On établit ainsi de quelle manière les modifications des durées de déplacement altèrent la situation des différents agents économiques.

D'un **point de vue méthodologique**, plusieurs observations peuvent être faites :

1. D'une part, le besoin, plusieurs fois répété, de représenter le phénomène étudié en prenant en compte à la fois la *summa divisio* entre biens génériques et biens spécifiques et la différence entre durées en déplacement et durées hors déplacement.
2. Une autre originalité de notre objet d'analyse est que, du fait de la nature "transcendantale" du temps, on peut porter sur un graphique unique les fonctions de coût des différents agents, parties prenantes au transport de marchandises. Ici, le temps qui s'écoule est le même pour le transporteur, pour l'entreprise et pour le consommateur final. Une représentation qu'il est probablement beaucoup moins aisé à mettre en œuvre pour d'autres types d'arbitrages.
3. Enfin, on peut revenir sur le choix méthodologique que nous avons proposé dans l'introduction de la partie II. Nous avons défendu la pertinence d'une formalisation basée sur le triptyque chargeur, transporteur, consommateur final. Cette formalisation entre en conflit avec l'évidence empirique selon laquelle la majorité des biens transportés dans l'économie correspond à des biens intermédiaires destinés, non pas à des consommateurs finaux, mais à des entreprises. Toutefois, ce conflit nous semble, au final, de pure apparence. On le constate, par exemple, en examinant les conditions marginales temporelles du chargeur. Le consentement à payer du chargeur pour un gain de temps dans ses *approvisionnements* est déterminé par le consentement à payer du *consommateur final* pour un gain de temps. Cela signifie que les arbitrages réalisés par le producteur aboutissent à répercuter à ses fournisseurs les contraintes temporelles qu'il subit de la part de ses propres clients. Dans le cadre, certes simplifié, que nous avons proposé (information parfaite, absence d'incertitude, concurrence pure et parfaite) prendre en compte explicitement les relations entre les entreprises qui entrent en jeu successivement dans la production du bien, pourrait augmenter la valeur faciale du traitement proposé, mais n'aboutirait qu'à introduire des éléments redondants¹⁸¹.

Dans ce cadre conceptuel, qu'apprend-on ? On restitue les enseignements de ce traitement selon le triptyque : objet, norme et mesure. On se concentre sur le cas des biens spécifiques.

Sur l'objet

Concernant l'objet, c'est-à-dire les modifications de la situation (coûts, recettes, préférences) des différents agents économiques, on dispose d'éléments de compréhension supplémentaires.

En premier lieu, on dispose d'une description des mécanismes par **lesquels une diminution des durées de déplacement se répercute** sur les différents agents économiques. La diminution des durées minimales de déplacement, se traduit par un glissement de la courbe de coût de transport, ce glissement combine dans le cas général une translation vers le bas (coût inférieur) et une translation vers la gauche (durées de transport inférieures). Sauf conditions particulières (prix marginal des gains de temps constant) cette modification impliquera une réadaptation des durées consacrées aux différentes phases du cycle de production (approvisionnement, production, distribution). Cette réadaptation pourra aboutir à un raccourcissement de ces durées ou à un allongement de celles-ci, en fonction de la comparaison des

¹⁸¹ On pourra toutefois souhaiter introduire, dans des développements ultérieurs, une analyse des distorsions qui apparaissent, dans la transmission de ces préférences temporelles, en cas d'information imparfaite, de concurrence monopolistique ou d'incertitude.

dérivées secondes des fonctions de recettes temporelles et de coûts temporels des entreprises. Nous avons établi de manière formelle comment ce mécanisme joue pour les transporteurs, nous suggérons qu'un mécanisme semblable existe pour les producteurs.

Un autre élément fourni par cette formalisation (équation (6.13)) concerne **le consentement à payer des producteurs** pour une réduction des durées de transport. L'équation

$$cap_e = -ct'_t + ci'_t = -cp'_{td} + ci'_t = -r'_{td} + ci'_t = -r'_t + ci'_t \quad (6.13)$$

fournit une expression formelle du consentement à payer des entreprises pour une diminution des durées de transport. Ce consentement à payer sera égal à la somme de deux composantes :

1. la diminution des coûts d'immobilisation,
2. les bénéfices obtenus par l'utilisation de la durée ainsi libérée, que cette durée soit mise à profit pour :
 - améliorer les recettes de l'entreprise, en livrant le client de manière plus précoce, ou pour
 - réduire les coûts de l'entreprise :
 - en augmentant la durée de transport des inputs,
 - en augmentant la durée de production.

Ces différentes utilisations étant, si les conditions marginales temporelles sont respectées, équivalentes entre elles.

Enfin, cette formulation fournit des éléments permettant de comprendre **l'hétérogénéité** qui existe dans le rapport que les entreprises ont avec le temps, puisque les différences de valeur de chacun des termes contenus dans l'équation (6.13) que l'on pourra observer d'une entreprise à l'autre, impliqueront une valorisation différente des gains de temps. Ces éléments seront repris dans le chapitre 8.

Sur la norme

Cette analyse a également des conséquences en terme d'analyse coûts-avantages.

1. Pour les biens spécifiques, la baisse des coûts liés à la durée de transport, même si on la définit en sommant le tarif des transporteurs et les coûts d'immobilisation, ne rend pas compte de l'ensemble des effets sur l'économie des diminutions des durées de déplacement.
2. Les réductions des durées de déplacement ont des effets en termes de **distribution**. Si l'on utilise une fonction de Welfare qui est la somme des consentements à payer des entreprises pour un gain de temps, on donnera plus de poids aux individus dont l'utilité marginale de la monnaie est la plus faible. En effet, le consentement à payer de chaque entreprise s'écrit $cap_e = -r'_t + ci'_t$ or $-r'_t$ est égal à $(\delta U / \delta t_a / \lambda)$, consentement à payer des consommateurs pour une diminution des durées de livraison, ce terme étant inversement proportionnel à l'utilité marginale de la monnaie λ . Si l'on utilise alors le résultat canonique selon lequel l'utilité marginale de la monnaie est inversement corrélée au revenu, on trouve que cette méthode de calcul donne un poids plus important aux individus les plus riches.

Ces questionnements ne sont pas sans importance. Ainsi, à moins que l'on soit dans une situation initiale où le planificateur poursuit une politique de maximisation du bien-être social à la fois par rapport aux versements forfaitaires et par rapport aux autres politiques qui affectent la répartition (Varian [1992] cité par Bates [2003 p. 17]), les effets sur la distribution de la modification considérée de l'économie ne pourront pas être ignorés.

Sur la mesure

Concernant les techniques de mesure de la valeur du temps, le traitement proposé suggère deux types de démarches.

D'une part, nous avons montré l'affinité de l'équilibre sur le marché des transports de marchandises avec les outils proposés par l'approche hédonique. Cette approche offre donc un traitement susceptible d'être mis en œuvre pour fournir des estimations quantitatives de la valeur du temps.

D'autre part, on constate la nécessité de mettre en œuvre, outre l'approche hédonique, d'autres techniques aptes à rendre compte de l'hétérogénéité des valeurs du temps. Ce point fait écho au développement des méthodes de mesure que nous avons présenté dans le chapitre 4.

Conclusion de la partie II

Les chapitres 5 et 6 nous ont permis d'examiner les conséquences d'une modification des durées minimales de déplacement sur la situation des différents agents économiques concernés par le transport de marchandises. En conclusion à cette partie II, on présente deux éléments. Tout d'abord, il est possible de synthétiser dans une représentation unifiée les différentes sources de valorisation des gains de temps. Ensuite, on propose des pistes pour des analyses complémentaires théoriques ou empiriques.

Trois sources de valorisation des gains de temps.

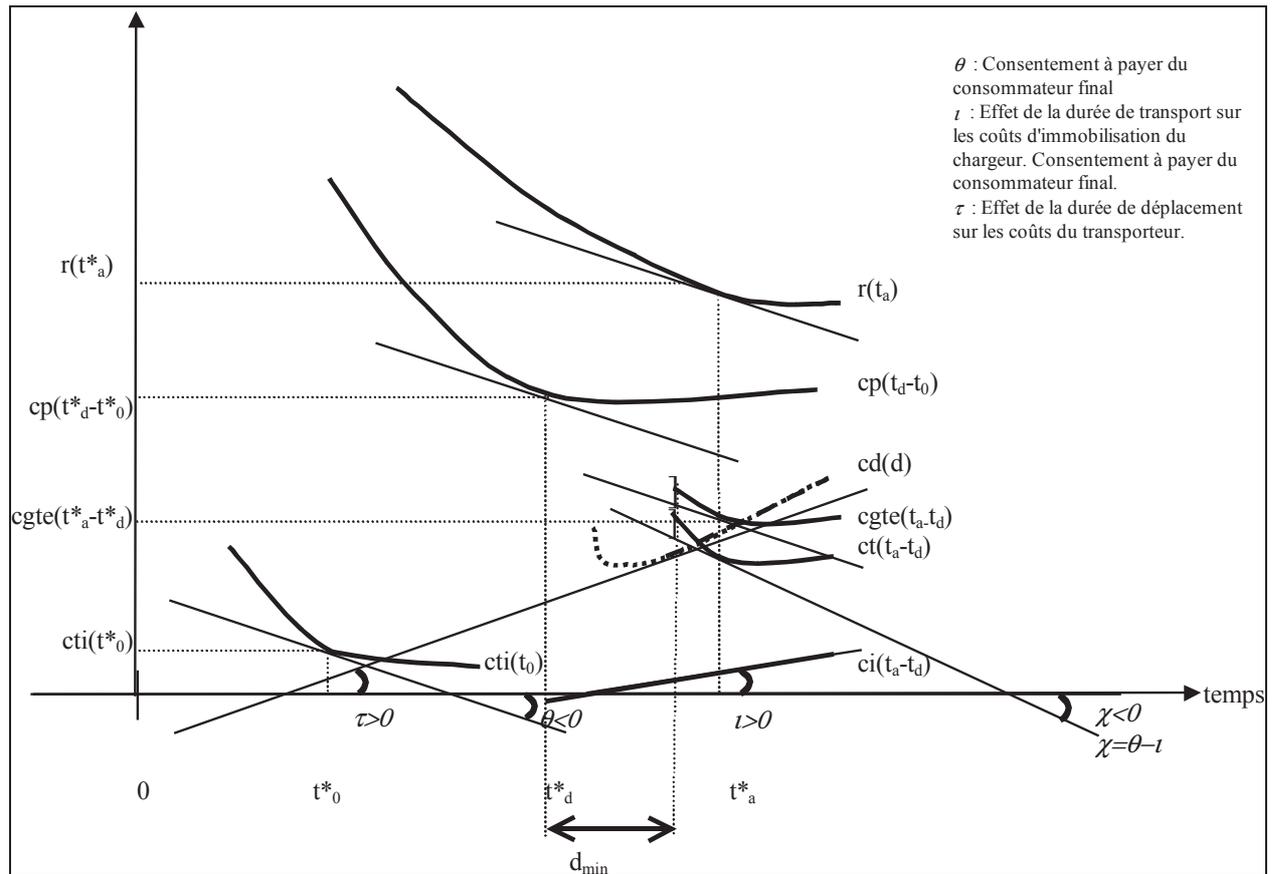
On distingue trois sources de valorisation des gains de temps.

- La première résulte de la préférence des consommateurs pour une anticipation de la livraison des biens spécifiques.
- La deuxième résulte des coûts d'immobilisation des chargeurs.
- La troisième est liée aux conditions de production du service de transport, et s'exprime, dans le cas simplifié du tractionnaire, par l'effet des durées de déplacement sur les coûts de déplacement.

Ces différents éléments sont mis en évidence sur la Figure 42. Cette figure comporte les différentes courbes de recettes et de coût des producteurs et des transporteurs.

$ct_i(t_0)$	coût de transport des intrants,
$ci(t_a-t_d)$	coût d'immobilisation,
$ct(t_a-t_d)$	coût de transport,
$cgte(t_a-t_d)$	coût généralisé de transport des extrants en fonction de la durée de transport ($cgte(t_a-t_d) = ct(t_a-t_d) + ci(t_a-t_d)$),
$cd(d)$	coût de <i>déplacement</i> en fonction de la durée de <i>déplacement</i> ,
$cp(t_d-t_0)$,	coût de production en fonction des durées de production,
$r(t_a)$	revenu du producteur en fonction de t_a .

Figure 42 : trois sources de valorisation des gains de temps (type tractionnaire)



On fait aussi apparaître les tangentes aux courbes de coût telles qu'elles apparaissent dans la situation où chaque agent respecte les conditions marginales temporelles.

cti , cp , $cgte$, $r(t_a)$ ont une tangente de pente θ ,

$cd(d)$ a une tangente de pente τ ,

$ci(t)$ a une tangente de pente ι .

En outre, on peut faire figurer la pente $\chi = \theta - \iota$, pente de la courbe $ct(t)$.

Or, chacune de ces pentes correspond à une des sources de valorisation des gains de temps :

- θ correspond au consentement à payer des consommateurs pour un gain de temps. Cette pente correspond aussi au surcoût que les producteurs sont prêts à supporter pour servir leurs clients plus rapidement. C'est une quantité négative, ce qui implique que lorsque les durées *diminuent*, le consentement à payer des consommateurs (et les coûts supportés par les producteurs pour les satisfaire) *augmentent*.
- τ correspond à la sensibilité des *coûts de déplacement aux durées de déplacement*. C'est une quantité positive, mais son signe doit être inversé deux fois pour représenter les bénéfices d'une réduction des durées de déplacement (une fois pour convertir le coût en bénéfice, une fois pour prendre en compte le fait qu'on considère une *diminution* des durées de déplacement). $-(\tau) = \tau$ nous fournit donc une source (positive) de valorisation des gains de temps.
- ι correspond à la sensibilité des coûts d'immobilisation aux durées de transport. Elle nous fournit une valorisation positive de la *réduction* des durées de transport.

Au-delà donc des apports et des éléments de compréhension qu'elle fournit, la formalisation que nous avons proposée nous invite également à réaliser des analyses complémentaires.

Analyses à réaliser

Les analyses complémentaires sont de nature théorique ou empirique.

Développements théoriques proposés

D'un point de vue théorique, les compléments que l'on peut apporter au traitement proposé sont multiples.

1. On pourra trouver souhaitable de prendre en compte la **variation des quantités consommées** par chaque individu en fonction des durées de livraison. Ce point n'est probablement pas négligeable, car les modifications des quantités consommées, et donc transportées, est un des ressorts du calcul de surplus des consommateurs¹⁸².
2. D'autres développements gagneraient à être réalisés notamment en se plaçant dans le cadre de la **concurrence monopolistique**. Le modèle que nous avons développé n'est pas un modèle de différenciation. Des unités de productions en nombre non limité sont susceptibles de produire le bien concerné pour toute durée qui fait partie de l'intervalle étudié. On pourra souhaiter se placer dans une autre configuration où seul un nombre limité d'entreprises peuvent produire un bien pour telle durée.
3. Une autre extension possible serait de **réintroduire l'espace** dans cette analyse temporelle. La localisation géographique des producteurs et des transporteurs compte parmi les dotations initiales de ceux-ci, qui leur permet de distribuer les produits au prix d'une opération de transport moins coûteuse et moins longue. On peut voir dans cette caractéristique spatiale un élément d'explication des différences de coûts entre producteurs et entre transporteurs.
4. D'autres développements théoriques pourraient viser à **réintroduire dans le modèle l'incertitude**. En achetant un contrat de transport, l'entreprise achète une loterie, au sens économique de ce terme. Elle doit, dès lors, prendre en compte un risque de retard (ou d'avance) de ses livraisons. On rejoint les travaux sur la valeur de la fiabilité en transport de marchandises (voir par exemple le projet ExACTT du PREDIT). L'incertitude pourrait aussi être introduite dans les durées de production, le transport des marchandises vers les destinataires apparaissant alors comme un amortisseur des retards éventuellement accumulés dans les phases précédentes. Dans ce cas, le consentement à payer des producteurs pour une diminution des durées de transport pourrait être différent de celui dont rend compte un modèle purement déterministe.
5. Dans le même ordre d'idée, ce traitement pourrait être enrichi en considérant **l'information imparfaite des entreprises**. Qu'advient-il si les entreprises ne perçoivent pas correctement la relation entre durées et déplacement et si elles se placent sur la partie croissante de leur courbe de coût de production ? On pourrait aussi considérer des asymétries d'information : le consommateur achète un bien pour une certaine date, mais le producteur sait qu'il peut sans perte le livrer à une date ultérieure.
6. On notera enfin que l'ensemble de cette analyse a été réalisé en prenant en compte des fonctions qui sont essentiellement définies par rapport aux durées ou à des dates considérées **indépendamment de tout élément circadien**. On ignore alors des éléments non négligeables comme l'alternance des activités entre le jour et la nuit ou le caractère discontinu de certaines activités productives. Or, il est probable que ces éléments ont leur importance. Il est moins cher pour une entreprise de produire le jour que de produire la nuit, il est plus rentable pour un transporteur de faire arriver ses marchandises dans le créneau d'ouverture des entrepôts de son client. Se profile ainsi l'intérêt d'analyser les variations circadiennes de l'activité de transport et de production.
7. Enfin on souhaiterait pouvoir donner une **formalisation en terme de Welfare Economics** de l'effet des réductions des durées de déplacement sur le niveau économique. Si tel était notre objectif initial, les difficultés que nous avons rencontrées en chemin (différence entre durées de déplacement et durées hors déplacement ; rôle des arbitrages temporels pour les producteurs, les transporteurs et les consommateurs) nous ont semblé mériter un traitement particulier qui était un préliminaire à la

¹⁸² Il n'est pas impossible de calculer un surplus pour des quantités fixes, mais du moins ce type de configuration doit-il être dûment justifié.

formalisation du problème en terme de welfare economics. Une telle formalisation nous paraît toutefois à ce stade, à portée de la main et pourra être réalisée, dans une prochaine étape.

Outres ces développements théoriques, le traitement proposé des gains de temps invite, à plus court terme à des compléments empiriques.

Travaux empiriques à réaliser

Les travaux empiriques que nous recommandons permettront notamment de vérifier la cohérence entre le traitement proposé et le comportement observé des chargeurs. En particulier il s'agit de :

1. Disposer d'éléments sur **l'importance relative au sein de l'économie des biens spécifiques et des biens génériques**. On dispose pour cela de plusieurs méthodes : soit examiner les secteurs qui semblent correspondre à chacune de ces catégories, et mesurer leur poids dans l'économie. Par exemple l'industrie automobile¹⁸³, ou encore l'optique fournissent des exemples de tels biens. Toutefois on buttera vite sur certaines difficultés. D'une part, à l'intérieur de chaque secteur, peuvent cohabiter des produits génériques et des produits spécifiques. L'automobile, pour reprendre notre exemple, a vu, au modèle fordiste (générique), succéder un modèle toyotiste (bien spécifique), mais celui-ci est à son tour remis en cause par des modèles "premiers prix" (comme l'illustre la mise sur le marché de la Logan) ou d'autres stratégies de vente (Smart) qui correspondent à une logique générique. La difficulté est encore accrue si l'on considère que pour la production d'un bien, on peut avoir recours à plusieurs étapes du processus de production à des inputs génériques ou à des inputs spécifiques. Une possibilité serait d'intégrer dans les questionnaires (par exemple dans les questionnaires SP et RP auprès des chargeurs) une question sur le contexte productif de l'entreprise¹⁸⁴.
2. Poursuivre l'analyse concernant les paramètres des préférences des consommateurs en fonction de la date de disponibilité des biens. Cette thématique est peu documentée dans la littérature économique que nous avons analysée. Peu de choses sont connues sur leur amplitude, et sur d'autres caractéristiques qui sont pertinentes pour notre analyse. Par exemple la concavité de la courbe qui représente ces préférences n'est pas sans conséquences sur les effets d'une réduction des durées de déplacement.
3. Poursuivre l'analyse en terme d'approche hédonique. L'approche par les biens hédonique semble rendre compte correctement des mécanismes à l'œuvre à la fois sur le marché des transports et sur le marché des biens finaux. On est donc tenté d'utiliser cette approche pour calibrer une fonction de prix hédonique et mesurer ainsi un consentement marginal à payer des demandeurs (et à recevoir des offreurs) pour un gain de temps.
4. Approfondir les connaissances sur l'hétérogénéité des préférences. Sur ce point, un traitement de donnée hédonique fournit déjà une piste. Une autre piste est fournie par le développement de méthodologie qui tendent à intégrer l'hétérogénéité des comportements dans le cadre du modèle R.U.M.

¹⁸³ Sur ce point des éléments de validation seraient nécessaires. Paché et Sauvage [2004, p. 48] citent un exemple tiré de la presse professionnelle selon lequel seul 30 % des véhicules produits par Renault seraient "spécifiques". Ce point nécessiterait d'être comparé à d'autres éléments.

¹⁸⁴ L'enquête auprès des chargeurs que nous utiliserons dans le chapitre 8, nous fournit une indication sur ce point. Les envois qui sont réalisés "sur commande", y représentent 51 % des envois interrogés, 50 % du prix payé par les entreprises pour des envois, et 63 % de la valeur de biens envoyés.

Partie III : Mesures de la valeur du temps

Introduction de la partie III

La seconde partie de ce travail nous a permis d'analyser de quelle manière les différents agents économiques sont affectés par une modification des durées de déplacement. Cette formalisation ouvre la voie à certains traitements quantitatifs. On propose dans la partie III de cette thèse deux traitements :

- Une approche hédonique de la valeur du temps sur la base de données de Préférences Révélées.
- Une mesure de l'hétérogénéité de la valeur du temps sur la base de données Préférences Déclarées.

Tout d'abord, l'analyse de l'équilibre sur le marché des transports nous a suggéré une représentation hédonique du marché des transports de marchandises. On propose donc de mesurer la valeur du temps des chargeurs en appliquant cette technique à des données collectées lors d'une enquête auprès des chargeurs dans le Nord-Pas de Calais. Outre sa congruence avec les comportements d'optimisation des différents agents économiques, l'approche hédonique présente certains avantages. D'une part, elle offre l'avantage de reposer comme les autres données de RP, sur des comportements réels, observés sur le marché. D'autre part, en comparaison des autres méthodes de RP, elle est plus parcimonieuse en données et en hypothèses ; notamment parce qu'elle ne repose pas sur la construction de pseudo-observations pour les alternatives non utilisées. Un autre avantage est qu'elle est basée de manière inhérente sur une hypothèse d'hétérogénéité des comportements d'offre et de demande. Cela peut être mis en regard de techniques de choix discrets où l'introduction de l'hétérogénéité, même si elle est possible, n'est en général pas inhérente à la méthode. Enfin, la construction de l'équilibre hédonique repose sur l'utilisation de courbes de demandes compensées, ce qui peut faciliter l'utilisation des résultats pour des analyses d'économie normative.

En second lieu, la formalisation que nous avons proposée, et la manière dont elle permet de rendre compte de l'hétérogénéité des valeurs du temps, font écho au développement des méthodes de traitement statistique que nous avons présentées dans le chapitre 4. On propose donc dans le chapitre 6 l'application de deux méthodes permettant de prendre en compte l'hétérogénéité : une modélisation avec termes d'interaction et un modèle logit avec coefficients stochastiques. Ces techniques sont appliquées à une enquête de Préférences Déclarées réalisée auprès des chargeurs en Italie.

Chapitre 7 : Peut-on mesurer la valeur du temps par la technique des prix hédoniques ?

"La mesure de l'utilité réelle ou supposée d'une chose est la vivacité avec laquelle elle est désirée généralement. Or comment fixer les degrés d'une chose aussi inappréciable que la vivacité de nos désirs ? Nous avons cependant une manière très sûre d'y parvenir : c'est d'observer les sacrifices auxquels ces désirs nous déterminent".

Destut de Tracy, Traité d'économie politique [1823].

Introduction

Les prix hédoniques sont une approche largement utilisée dans l'analyse économique pour estimer la valeur que le consommateur attribue à différents attributs d'un bien.

L'approche hédonique repose sur l'hypothèse selon laquelle les biens ne sont pas désirés pour eux même mais pour leurs qualités ou attributs, dont le consommateur tire une utilité. Cette technique trouve son origine dans les travaux pionniers de Waugh [1928] sur les déterminants des prix des asperges sur les marchés de Chicago. Plus tard, Court [1939] a repris ces travaux pour les appliquer à l'industrie automobile. Cette approche a été reformulée par Rosen [1974] dans un article (re) fondateur : "*Hedonic prices and implicit markets : product differentiation in pure competition*"¹⁸⁵ qui fournit une assise formelle et théorique à l'analyse des préférences sous-jacentes à l'équilibre d'un marché hédonique. Cette approche a été appliquée pour des objectifs divers et pour des types de biens différents.

Concernant les **objectifs**, les applications les plus nombreuses portent sur l'estimation du consentement à payer des consommateurs pour les qualités des biens. Elle a aussi été mise en œuvre pour estimer le prix de variétés non existantes, cette dernière approche étant requise pour calculer des indices de prix nets de l'effet qualité (Griliches [1971]). Elle a aussi été utilisée dans l'économie de la production pour estimer des fonctions de production multiattribut (Spady et Friedlander [1978]).

Concernant les **domaines d'application** la très grande majorité des travaux réalisés portent sur l'économie urbaine et plus précisément l'économie immobilière (Marchand et Skhiri [1995], Maleyre [1997]). Cette technique a également été appliquée aux biens industriels (automobile, informatique) et au

¹⁸⁵ *Prix hédoniques et marchés implicites : différenciation des produits en compétition pure.*

marché du travail (Lucas [1972]). Certaines applications ont également été réalisées dans le domaine des transports. Maggi et alii [2000] ont récemment appliqué une analyse hédonique au transport de voyageurs et réalisé par ce moyen une estimation de la valeur du temps pour les déplacements professionnels. Dans le domaine du transport de marchandises : Sepulveda et Sepulveda (sic) [1994] en Espagne ; Szpiro [1996b], Jeger et Thomas [1999], en France, ont réalisé des analyses hédoniques du transport routier de marchandises. Mais ces analyses ne prenaient pas en compte (en partie du fait des données utilisées) la durée comme une variable explicative des prix.

Dans ce chapitre, on examine la manière dont l'analyse hédonique peut être utilisée pour révéler les préférences sous-jacentes des agents concernant l'attribut durée de transport. L'intuition qui résume cette démarche est que si les chargeurs attribuent de la "valeur" au fait de diminuer les durées de transport, cela se reflétera dans les prix qu'ils acceptent de payer pour des services de transport plus rapide. On peut alors calibrer une relation fonctionnelle entre le prix observé pour différentes prestations de transport et la durée de transport, puis, à partir de cette relation fonctionnelle, calculer l'effet d'une modification marginale des durées de transport sur le prix observé. On estime ainsi un "prix marginal" de la durée de transport qui fournit une estimation de la valorisation du temps par les chargeurs.

Dans une **première partie, on présente la théorie hédonique** en examinant plus particulièrement comment elle peut être adaptée à une analyse du transport de marchandises.

Dans une seconde partie, on présente **les résultats de cette approche** qui sont disponibles dans le domaine des transports.

Dans une troisième partie, on présente les résultats d'une **application de cette approche sur des données de Préférences Révélées** collectées auprès des chargeurs dans la région Nord - Pas de Calais¹⁸⁶.

1 Présentation de l'approche hédonique

Notre objectif est de mesurer la "valeur" attribuée par les *chargeurs* aux modifications des durées de *transport*.

Deux points caractérisent donc notre approche : d'une part, l'objectif est d'analyser les caractéristiques de la *demande* de transport. D'autre part, notre analyse se concentre directement sur la durée de *transport* sans considérer les durées de déplacement qui ressortent quant à elles à un arbitrage interne réalisé par les transporteurs.

Dans ce cadre général, on examine tout d'abord la pertinence de l'approche hédonique pour analyser la valeur du temps en transport de marchandises. Puis on examine de quelle manière on peut interpréter les prix marginaux de la durée de transport, obtenus en dérivant la fonction de coût marginal par rapport aux durées de transport.

1.2 Pertinence de l'approche hédonique pour la valeur du temps en fret

La première question que l'on est amené à considérer est de savoir si l'approche hédonique peut convenablement être transférée, de ses domaines d'application traditionnels, vers le transport de marchandises. Une difficulté notable est que l'approche hédonique a été utilisée presque exclusivement

¹⁸⁶ Ces données ont été mises à disposition par le Ministère de l'Équipement du Transport et des Logements et par l'INRETS. Nous remercions en particulier Christophe Rizet, Michèle Guilbault, et Michel Houée.

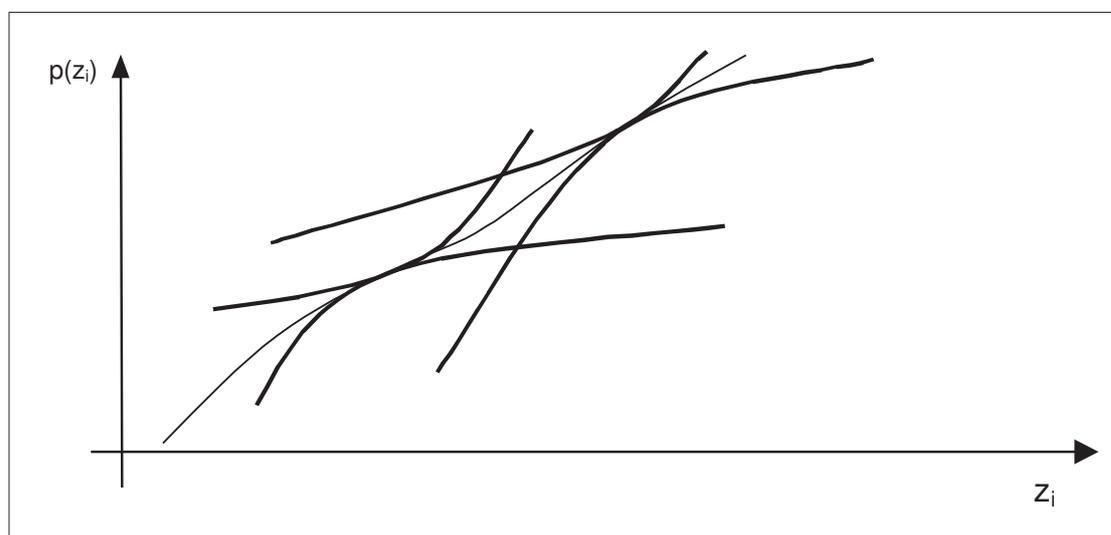
pour analyser les préférences des consommateurs, alors que les donneurs d'ordre des envois courants sont, sauf exception, les entreprises.

On fournit tout d'abord une description traditionnelle de l'équilibre hédonique. Puis on examine dans quelle mesure cette application peut être valable pour l'analyse de transport de marchandises.

Représentation traditionnelle de l'équilibre hédonique

La Figure 43 fournit une représentation standard de l'équilibre hédonique. Ce graphique représente pour deux demandeurs, les prix de réservation ou encore la *courbe d'enchère* et, pour deux offreurs une *courbe d'acceptation*, pour l'attribut z_i , $i^{\text{ème}}$ attribut du bien. Chaque courbe d'enchère représente un ensemble de combinaisons $(z_i; p(z_i))$ de même utilité. Chaque courbe d'acceptation relie des combinaisons $(z_i; p(z_i))$ d'isoprofit. Les courbures de ces courbes correspondent aux hypothèses canoniques de décroissance de l'utilité marginale et de rendements décroissants.

Figure 43 : courbes d'acceptation, courbes d'enchères et transactions



Les transactions ont lieu en un point de tangence entre une courbe d'acceptation et celle parmi les courbes d'enchères qui croise cette courbe d'acceptation pour le niveau d'utilité le plus élevé. Il s'agit donc de la courbe d'enchère tangente à la courbe d'acceptation. L'ensemble de tous les couples $(z_i; p(z_i))$ auxquels se font les transactions dessine une courbe de prix notée $p(z_i)$, qui est la représentation graphique de la *fonction de prix hédonique* (représentée par un trait fin)

A point où ont lieu les transactions, la dérivée de la fonction de prix hédonique s'égalise avec celle des fonctions d'enchères et d'acceptation. Elle donne donc directement une estimation numérique de l'enchère marginale des demandeurs. On peut donc, en estimant la fonction de prix hédonique, puis en calculant sa dérivée pour chaque transaction, obtenir une quantification du consentement à payer des acheteurs pour une modification marginale de l'attribut concerné.

Dans quelle mesure cette représentation est-elle adaptée au transport de marchandises ?

Application au transport de marchandises

On montre tout d'abord comment cette représentation doit être adaptée.

Choix d'une représentation

Pour être conforme à la représentation traditionnelle il faut que l'attribut z_i soit un bien (et non un "mal") et donc qu'un accroissement de sa quantité soit jugé souhaitable par les demandeurs. Ce qui explique que les courbes d'enchères sont croissantes (une quantité plus importante de l'attribut, peut être achetée plus cher, à niveau d'utilité donnée).

La durée de transport ne correspond pas à cette représentation puisque, en général, une durée supérieure sera jugée défavorablement par les demandeurs. Cette difficulté laisse deux possibilités :

1. Soit introduire, par exemple, une durée de référence \tilde{t} et utiliser comme attribut la différence ($\tilde{t}-t$) entre la durée de référence et la durée de transport. Une autre solution serait d'utiliser la vitesse¹⁸⁷ comme un attribut, mais nous ne retenons pas cette possibilité, tout d'abord en raison de la relation non linéaire entre durée et vitesse, d'autre part, parce que les courbes d'enchères seraient moins facilement interprétables, et enfin parce que les chargeurs expriment plus facilement leurs préférences en termes de durées qu'en termes de vitesse.
2. On peut également garder l'attribut dans sa forme originelle et adapter la représentation graphique à ce choix et renoncer à une représentation dans laquelle les courbes d'enchères sont croissantes.

Nous privilégions le second mode de représentation puisqu'il permet de maintenir la représentation intuitive du temps sous forme d'une flèche de la gauche vers la droite, et parce qu'il est cohérent avec la représentation utilisée dans les autres chapitres¹⁸⁸.

Convexité des courbes d'enchère et d'acceptation

Une difficulté supplémentaire est due à la forme "particulière" des courbes représentant l'offre et la demande de transport. Dans l'approche traditionnelle les courbes d'acceptation sont convexes monotones. Les courbes d'enchères sont concaves et également monotones. Enfin ces deux courbes doivent être continues et dérivables (au moins au point où se forment les transactions) or certaines de ces propriétés – notamment la monotonie de la fonction d'acceptation ; la continuité des fonctions d'enchères et d'acceptation - pourraient être remises en cause pour des transactions effectuées sur le marché des transports de marchandises.

Qu'en est-il, tout d'abord, du côté de la **demande** ? L'hypothèse de fonctions d'enchères décroissantes par rapport à t_a est certes restrictive en ce qu'il exclut certains types de préférences, par exemple une préférence pour repousser le moment de livraison d'un bien. Il constitue cependant une représentation raisonnable du cas le plus typique dans lequel le destinataire du bien préfère anticiper la disponibilité du bien. L'hypothèse de fonctions d'enchères continues et dérivables est également restrictive, par rapport à : (1) l'existence de préférences de type "tout ou rien" dans l'hypothèse où certains destinataires veulent recevoir le bien avant une date butoir. Mais ce point pourrait ne pas être très problématique car il correspond à une configuration extrême, stylisée, d'une situation plus réaliste dans lesquelles les fonctions d'acceptation ont un coude très marqué mais restent continues ; (2) la discontinuité dans le temps de certaines fonctions de demande (si par exemple une entreprise n'est en mesure de réceptionner des marchandises que pendant un intervalle de temps limité chaque jour). Ce second cas pourrait être plus

¹⁸⁷ Nous ne parlons pas ici de vitesse du véhicule lors de son déplacement, mais de la vitesse de "transport" obtenue par exemple en divisant la distance à vol d'oiseau par le nombre d'heures s'écoulant entre le chargement et le déchargement.

¹⁸⁸ En fait il y a un conflit entre deux représentations naturelles :

- représenter sur l'axe des x une qualité qui fournit une qualité croissante.
- représenter sur l'axe des x le temps (les durées) dans leur succession chronologique (plutôt qu'anti-chronologique).

Puisqu'il n'apparaît pas possible de réconcilier ces deux représentations, il faut à un certain moment, que la représentation choisie soit contre intuitive par rapport à une de ces deux représentations.

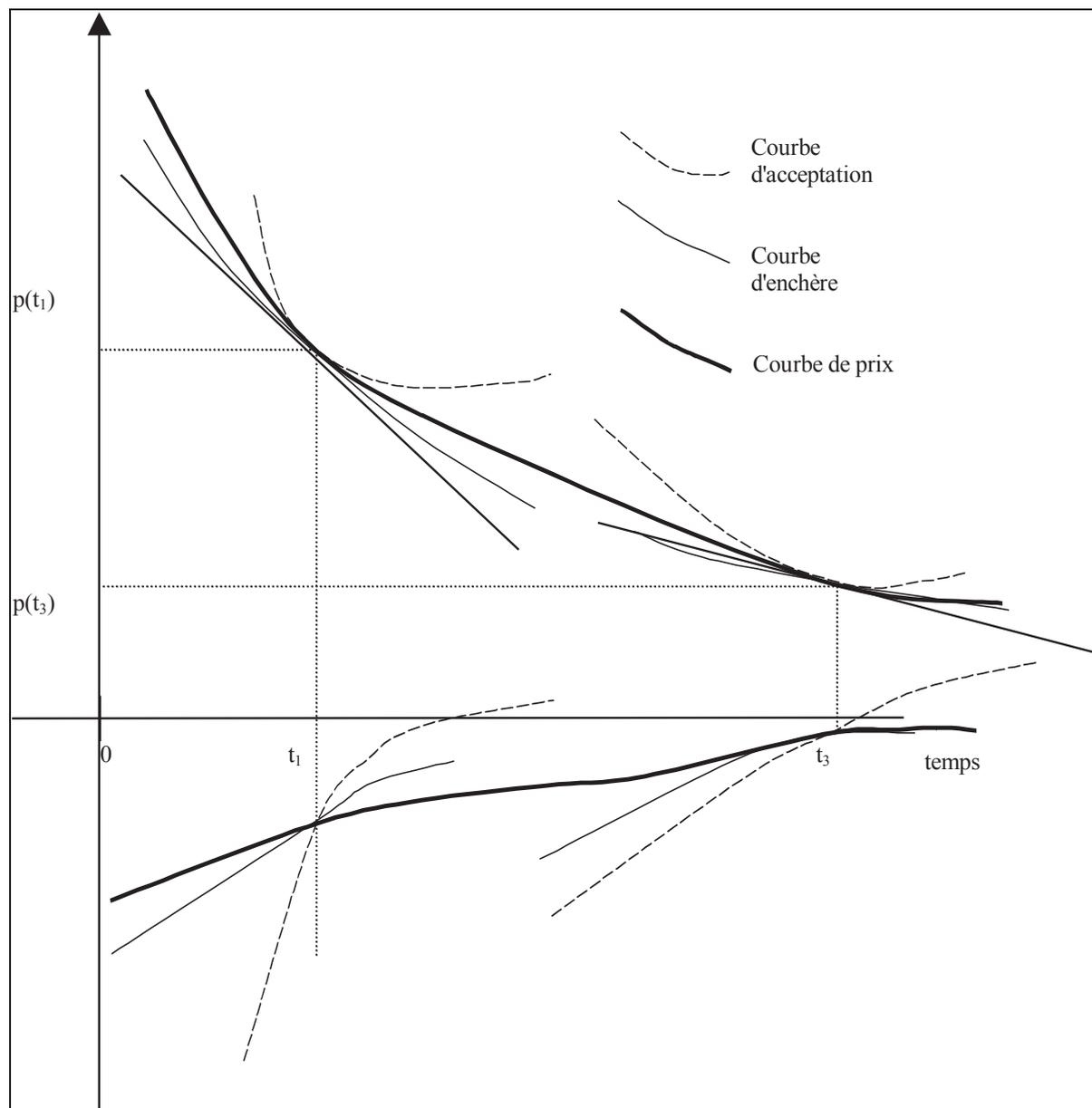
répandu que le précédent. Il est en même temps plus complexe. Il pourra faire l'objet d'approfondissements ultérieurs.

Qu'en est-il du côté de l'**offre** ? Les transporteurs ont en général des fonctions de coût convexes, mais elles ne sont pas monotones en fonction des durées. De plus, les courbes de coût sont tronquées par des durées minimales, ce qui, si des transactions ont lieu au point de troncature, pourrait créer des difficultés analytiques liées à la non-dérivabilité de la fonction au point de troncature. Toutefois, on peut raisonnablement penser que ces difficultés sont de portée minime. Tout d'abord parce que, dans le cas typique, les transactions auront lieu dans la partie de la courbe de coût de *transport décroissante en fonction des durées*. En second lieu, les situations dans lesquelles les transactions auraient lieu à des points de troncature de la courbe de coût sont relativement peu probables, puisqu'elles correspondraient à une situation où le programme de maximisation du profit par l'entreprise est contraint par le minimum sur les durées de déplacement¹⁸⁹. Si toutefois l'analyste a des raisons de penser que ce cas se présente de manière non exceptionnelle dans les données qu'il utilise, il devra renoncer à utiliser l'approche hédonique.

La Figure 44 présente l'aspect des courbes d'acceptation et d'enchère sur le marché du transport de marchandises. Les courbes d'acceptation et d'enchère *marginales* sont, en outre, représentées dans le quadrant inférieur. Par ailleurs on représente dans les deux quadrants du graphique les courbes de prix hédonique et de prix hédonique *marginal*, dit encore, *prix implicite*, qui résulte de l'interaction de l'offre et de la demande.

¹⁸⁹ On rappelle que la représentation par un point de troncature est une stylisation : au voisinage des durées minimales il existe une zone où les durées peuvent être réduites par des pratiques coûteuses : conduite risquée assortie de risques d'accidents, d'infractions. cela implique que s'il y a un point de troncature il sera probablement précédé d'une partie fortement pentue de la courbe de coût.

Figure 44 : représentation hédonique de l'équilibre sur le marché



Spécificités du transport de marchandises

D'autres spécificités du transport de marchandises doivent être prises en compte.

En premier lieu, les services de transport sont des "paniers" d'attributs qui peuvent être décomposés (en anglais "*unbundled*") selon certains attributs. Or, cette possibilité implique la linéarité de la fonction de prix hédonique. Cela diverge des biens multi-attributs standards où chaque variété doit être consommée comme un tout et ne peut pas être combinée avec d'autres variétés pour constituer une nouvelle variété. En transport de marchandises, deux déplacements à moyenne distance peuvent être comparés à un transport à longue distance ; et deux envois de poids moyen peuvent être comparés à un envoi de poids important¹⁹⁰. L'existence de ce type d'arbitrages impose des contraintes sur la courbe de

¹⁹⁰ Concernant la possibilité de désassembler les variétés, une solution attirante serait de baser l'analyse non pas sur l'envoi mais sur les tonnes.km des envois. Mais nous pensons que cela ne résoudrait pas le problème, puisque quelque manipulation que l'on fasse, un envoi peut dans le cas le plus général, par sa nature même être désassemblé.

prix hédonique. Mais il est probable qu'on ne doit pas donner trop d'importance à ces phénomènes : ils impliquent des coûts de recherche d'information, des coûts de transaction tels qu'ils ont peu de chances de se réaliser. Ce type de coût peut en général être supposé suffisamment important pour que les chargeurs confient à un unique prestataire l'ensemble des opérations de transports d'un envoi, ce qui rend possible la non-linéarité de la fonction de prix hédonique par rapport aux attributs concernés.

En second lieu, les services de transport sont achetés par les demandeurs en plusieurs variétés. Dans l'approche de Rosen, les biens multi-attributs sont typiquement achetés en une seule unité. Le modèle peut par la suite être étendu à l'acquisition de plusieurs unités d'une *même variété*. Cela contraste avec la situation en transport de marchandises où chaque demandeur peut acheter des services de transport différents. Cela pourrait impliquer qu'une approche telle que celle proposée par Lancaster [1966] ou Gorman [1980] où le consommateur combine des attributs de biens différents, pourrait offrir une alternative pour analyser le transport de marchandises.

Comparaison entre le transport de marchandises et un autre bien hédonique : le logement

Finalement, il est utile de comparer le transport de marchandises avec un bien hédonique typique : le logement. Quigley [1979] a souligné les spécificités du logement : durabilité, hétérogénéité, fixité dans l'espace, coûts de transaction importants. S'ajoute à cette liste l'exogénéité à court terme du niveau des attributs pour chaque variété. Parmi toutes ces caractéristiques, seule l'hétérogénéité caractérise également le transport de marchandises, qui peut par contre être caractérisé par la non-durabilité, le caractère répété des transactions, la faiblesse des coûts de transaction, la continuité et l'endogénéité des attributs, la multiplicité des vendeurs et des acheteurs. Notons que ces dernières caractéristiques sont plutôt favorables à la mise en œuvre de l'analyse hédonique. En particulier la nature généralement continue des attributs du transport de fret et la possibilité de produire par combinaison des variétés très diverses de services de transport peuvent diminuer l'importance de certaines difficultés propres à l'économie immobilière qui ont été soulignées par Harrison et Rubinfeld [1978].

Après avoir présenté ces caractéristiques analytiques, nous proposons de présenter les deux étapes de l'analyse hédonique.

1.3 Interprétation des résultats de la première étape et possibilité de réaliser la seconde étape

Une difficulté de l'analyse hédonique, n'est pas spécifique au transport de marchandises mais est liée au cadre analytique général de la théorie qui distingue deux étapes.

Les deux étapes de l'analyse hédonique

L'approche hédonique, si l'on souhaite la mener à son terme, repose en réalité sur deux étapes.

1. L'estimation *économétrique de la fonction de prix hédonique*, qui relie le prix auquel le bien ou le service est vendu à ses caractéristiques : $p(z_1, \dots, z_n)$. Une fois obtenue cette fonction on peut la dériver par rapport à chacun des attributs et trouver une fonction de prix marginal : $\delta p(z_1, \dots, z_n) / \delta z_i$. Si l'on introduit dans cette fonction les valeurs des z_i qui correspondent à chaque transaction, on obtient pour chaque observation une mesure du prix marginal payé pour l'attribut. Ce prix marginal s'égalise avec l'enchère marginale du demandeur, ce qui fournit une estimation du consentement à payer pour une modification marginale de l'attribut.
2. Dans un second temps, si l'on souhaite obtenir une estimation du consentement à payer pour une modification non marginale, on devra disposer d'une *courbe de demande (inverse) de l'attribut*. Cela se justifie parce que le consentement à payer des agents peut ne pas être constant selon les quantités

consommées de l'attribut. Dans ce cas, si l'on souhaite connaître le consentement à payer des agents pour des modifications non marginales du niveau de l'attribut, il faut pouvoir estimer une fonction de demande inverse du bien.

Notons que la quasi-totalité des applications empiriques s'arrête à l'estimation des prix marginaux. Freeman [1979] notait que, dans le domaine de la pollution de l'air, seulement deux études parmi quinze parvenaient à réaliser la seconde étape.

La question est alors de savoir comment lorsque la seconde étape ne peut pas être réalisée, la dérivée de la fonction de prix hédonique par rapport à un des attributs peut être interprétée telle quelle. Deux aspects sont importants. D'une part, la fonction de prix hédonique résulte de l'interaction entre l'offre et la demande, et donc de la distribution des paramètres de coût au sein des producteurs et de préférence (ou dans notre cas de profitabilité) du côté des demandeurs. La forme fonctionnelle de la fonction de prix ne peut donc pas être déduite, dans le cas général¹⁹¹, des spécifications de l'offre et de la demande. La conséquence d'un point de vue conceptuel est que la fonction de prix n'est pas une forme réduite d'un système d'équations. D'autre part, une autre conséquence, est que, d'un point de vue économétrique, la fonction de prix hédonique ne peut pas être spécifiée a priori, mais est celle qui permet d'obtenir le meilleur ajustement possible.

On note toutefois que dans des cas (très) particuliers, les coefficients de la fonction de prix hédoniques fournissent une estimation des paramètres de la fonction d'acceptation ou d'enchère. On présente ces quelques cas particuliers puis on examine s'ils peuvent s'appliquer au transport de marchandises. Enfin on examine de quelle manière on peut interpréter les coefficients obtenus lors de la première étape.

Quelques cas particuliers

Tel est le cas par exemple lorsque les fonctions d'enchères sont les mêmes pour tous les offreurs ou dans le cas symétrique où les fonctions d'acceptation sont les mêmes pour tous les demandeurs. Dans le premier cas, la fonction de prix hédonique correspondra exactement à la fonction d'enchère des demandeurs ; dans le second elle correspondra à la fonction d'acceptation des demandeurs. Enfin, si les deux hypothèses sont respectées conjointement, les transactions auront toutes lieu en un unique point du plan (z_i ; $p(z_i)$). La courbe de prix se réduira à un point.

Il est vraisemblable qu'aucune de ces situations n'est vérifiée pour le transport de marchandises. Il peut exister une grande variété à la fois du côté des offreurs et des demandeurs. On pourrait cependant être tenté de dire que les offreurs sont caractérisés par une plus grande homogénéité que les demandeurs - du moins si l'on se restreint à un seul mode. La raison en est que les technologies utilisées dans unique secteur (le transport) ont probablement moins de diversité que les technologies utilisées dans plusieurs secteurs (les différents secteurs des chargeurs). De ce fait, les coefficients de la fonction de prix hédoniques pourraient en quelque sorte subir une plus grande "attraction" du côté des courbes d'acceptation que du côté des courbes d'enchères. Mais cette conjecture reste assez fragile du fait que l'offre des transporteurs peut correspondre à une diversité de modes et parfois à une combinaison de ceux-ci. D'autre part, si la théorie permet de tirer des conclusions claires lorsque l'on peut supposer l'unicité de la courbe

¹⁹¹ Tinbergen [1959] a ainsi montré que sous des hypothèses très précises et très restrictives de spécification des fonctions d'utilité et de production, ces deux dernières pouvaient être retrouvées à partir des paramètres de la fonction de prix hédonique. Si les fonctions d'utilité s'écrivent $U = - (z - \alpha)' \tau / 2 (z - \alpha) + x$, où τ est une matrice définie positive diagonale commune à tous les consommateurs. α est un vecteur représentant les goûts individuels. α est distribué normalement avec une matrice de covariance diagonale ; si on suppose, en outre, que l'offre, exogène, a une moyenne ξ et une matrice de variance covariance diagonale Ω , La fonction de prix hédonique est alors : $p(z) = [\tau \cdot (\tau \cdot \Sigma^{1/2} \cdot \Omega^{1/2} \cdot \xi)]' \cdot z + z' \cdot [- \tau \cdot (I - \Sigma^{1/2} \cdot \Omega^{1/2})] \cdot z$. Epple [1984] a étendu cette démonstration au cas où la demande et l'offre sont endogènes en considérant des fonctions de coût de production quadratiques et des caractéristiques des offreurs distribuées selon une normale.

représentant l'offre de transport, elle ne permet pas des conclusions opératoires lorsque les offres de transport sont "proches" l'une de l'autre.

Portée des résultats de la première étape

La conclusion est ici que les coefficients obtenus dans la première étape sont utilisables pour estimer la valeur attribuée par les offreurs et les demandeurs à une modification *marginale* de l'attribut considéré. Toutefois si l'on veut connaître l'effet de variations plus importantes du niveau de l'attribut, il faut connaître la fonction de demande inverse et réaliser la seconde étape de l'analyse. On rencontrera alors les difficultés mises en évidence par la théorie. La première difficulté est basée sur la sensibilité des prix marginaux obtenus à la spécification retenue pour la fonction hédonique. Une autre difficulté est que les résultats de la seconde étape ne vont faire que répliquer les résultats de la première étape à moins que des restrictions (par exemple, donner à la fonction de demande inverse une spécification différente de celle utilisée pour la fonction de prix) ou des données additionnelles (par exemple en introduisant des variables explicatives supplémentaires) ne soient introduites dans l'estimation.

Ces possibilités, et les difficultés qui les accompagnent, apparaîtront plus clairement dans l'analyse empirique proposée dans la suite de ce chapitre.

2 Une méthode peu appliquée et dont les utilisations les plus récentes n'ont pas abouti à des résultats concluants

Qu'en est-il alors des résultats de l'analyse hédonique dans le domaine du transport ? Un recensement des antécédents en la matière montre que cette méthode a eu des résultats limités, voire, décevants.

Dans le domaine du transport de voyageurs, Maggi et alii [2000] ont utilisé une approche hédonique pour analyser plusieurs questions d'économie des transports : mesurer la "valeur" de la mobilité automobile, le consentement à payer pour différents attributs des déplacements en transports publics, et enfin la valeur du temps pour les déplacements professionnels, domicile-travail et domicile-étude.

D'autres applications ont été réalisées dans le domaine du transport de marchandises. Une première constatation est que les approches hédoniques réalisées par le passé ont souvent écarté la durée de transport comme une variable explicative de la formation des prix. Faut-il y voir un choix théorique, une nécessité imposée par le type de données disponibles ? Présentons maintenant les différentes estimations réalisées.

Une étude économétrique sur données routières espagnoles réalisée par **Lucas de Sepulveda J. et Lucas de Sepulveda C.** [1994]¹⁹² considèrent ainsi comme variables explicatives des prix : la capacité du camion, le poids transporté et la distance parcourue en charge. Cette étude ne permet donc pas d'obtenir des éléments sur la valeur du temps.

Jeger et Thomas [1999] réalisent quant à eux une estimation des déterminants du prix à la t.km, en se basant sur des données issues de l'enquête permanente des Transports Routiers de Marchandises (T.R.M.). Les variables explicatives sont la distance et le poids, auxquels s'ajoutent de manière sensiblement moins déterminante : le conditionnement, le type de marchandise et le mode de relation avec le client (contrat à la durée ou contrat à la demande). Dans cette étude, la donnée durée de transport n'est pas retenue parmi les variables explicatives.

¹⁹² Cités par Szpiro [1996b].

¹⁹³ Elle aurait pu l'être pour rester cohérent avec l'unité de la variable expliquée (coût à la t.km), sous forme de la vitesse (inverse de la durée/km).

Szpiro [1996b, 1996c] et **Estève [1996]** utilisent, quant à eux, les données d'une enquête auprès des chargeurs réalisée en 1988 pour estimer une fonction hédonique. Leurs résultats sont "facialement" assez différents, mais il semble au fond qu'ils buttent sur une difficulté commune, qu'ils tentent de circonvenir par des moyens différents. L'encadré suivant décrit l'enquête réalisée auprès des chargeurs 1988. Cette présentation est empruntée à Szpiro [1996b, 1996c].

Encadré 13 : présentation des données utilisées par Szpiro [1996b, 1996c] et Estève [1996]

"L'enquête chargeurs 1988 a été réalisée par l'INRETS en face à face auprès d'un échantillon d'entreprises industrielles et de commerce de gros employant au moins 10 salariés. Les entreprises devaient décrire leurs trois derniers envois (hors mines et carrières, BTP, envois de moins de 1 kg et colis postaux). Ces envois ont par la suite été suivis par des entretiens successifs auprès des intervenants ayant participé à l'acheminement. Pour plus de précision sur ce point voir Bredeloup et alii [1989]".

"L'unité d'échantillon est l'envoi, c'est-à-dire une prestation correspondant à la facturation d'un service de transports de marchandises. L'enquête a porté sur tous les types d'envois, quel que soit le mode de transport (toutefois le mode fluvial n'est pas apparu dans l'échantillon)".

"L'échantillon total comprend des informations sur 5110 envois. Parmi ceux-ci environ la moitié ont été expédiés par le transport public. Au total notre échantillon de travail utilisable pour l'estimation d'une fonction de prix hédonique comprend 1.462 envois".

Sur la validité de données et le contexte d'étude Szpiro continue "cette enquête comporte plusieurs limites qu'il faudra garder à l'esprit lorsque l'on analysera les résultats. Elle n'a été effectuée qu'une fois en 1988, à une époque que l'on peut qualifier de transition : pour le principal mode observé, le transport routier, les effets de la libéralisation - et en particulier de la fin de la tarification routière obligatoire - sont encore à l'œuvre. Il est probable que les effets d'apprentissage de la concurrence ne soient pas complètement achevés à cette époque, ce qui fragilise en particulier la pérennité de nos résultats en ce qui concerne les prestations annexes au transport".

A partir de ces données, Szpiro ajuste une fonction hédonique en régressant le prix de la prestation de transport sur les variables suivantes :

- la distance,
- le poids de l'envoi,
- la valeur unitaire de la marchandise (au kg),
- la durée de transport,
- la chaîne modale : route (route tournée, un seul trajet, plusieurs trajets) ; fer + route, chantier CNC, Novatrans ; fer embranché ; maritime ; aérien.
- le conditionnement : fût, citerne, palette, colis, vrac, conteneur, spécifique, autre ;
- la nature du produit transporté,
- les prestations annexes, "empotage, dépotage ; étiquetage, emballage ; stockage ; gestion des stocks ; réalisation de documents comptables ; montage final, dédouanement".

Szpiro teste une relation log-linéaire¹⁹⁴ entre le prix et ses variables explicatives¹⁹⁵. Or, malgré les précautions méthodologiques, la durée est exclue comme variable explicative au seuil de 1%. Se prononçant sur ce point Szpiro, note l'existence d'erreurs de mesure sur les durées : "*dans la plupart des*

¹⁹⁴ Une spécification linéaire simple a été également utilisée mais elle est rejetée après application du test McKinnon, White et Davidson [1983].

¹⁹⁵ L'utilisation d'une régression hédonique suppose ici de régler un problème de colinéarité. Le test de Belsley, Kuh et Welsh [1980], requis en l'occurrence, ne montre pas de colinéarité forte entre les variables à l'exception d'une relation log linéaire entre valeur de l'envoi, distance et poids. Cette difficulté est alors circonvenue en remplaçant la variable explicative "valeur" par la variable "prix au kilo".

cas les acheminements ne concernent que des petites distances et aucune durée inférieure à la demi-journée ou à la nuit ne peut être obtenue. Il est dès lors évidemment impossible d'estimer une quelconque valeur du temps".

Dans une tentative identique, Estève semble buter sur la même difficulté, mais il s'en affranchit d'une manière différente. Il se limite à un nombre moins important de variables explicatives : Poids, Valeur, Temps, Distance. Il se restreint aux données **routières** et pour lesquelles seule la prestation de transport a été réalisée à l'exclusion de toute prestation annexe. Après suppression de quelques observations aberrantes 654 observations restent disponibles.

Estève propose plusieurs estimations, linéaires ou log-linéaires, dont 2 au moins retiennent l'attention. Elles se différencient non par la spécification du modèle mais par l'exclusion de certaines observations. Pour chaque ensemble d'observations Estève présente une formulation additive et une formulation multiplicative du modèle.

Soit tout d'abord un modèle qui exclut les points aberrants (définis par le fait qu'une des variables s'écarte de sa valeur moyenne de plus de 3 écarts types).

Tableau 40 : modèles additifs et multiplicatifs (sans points aberrants)

Forme de la fonction		Variable Expliquée	Variables explicatives					R ²	Nombre d'obs.
			Temps	Valeur	Poids	Distance	Constante		
Linéaire		Prix	-4,70 (-2,72)	0,0050 (6,82)	0,14 (11,57)	1,054 (6,97)	137,23 (1,86)	0,5	449
Log. (multiplicatif).		Prix	-0,03 (-0,77)	0,13 (4,96)	0,44 (23,75)	0,29 (8,28)	0,72 (2,83)	0,79	449
Statistiques Descriptives de l'échantillon	Moyenne	812	30,47	37714	1679	366			
	Médiane	400	24	15300	34	333			
	Ecart- type	973	20,9	51998	3109	235			

Soit ensuite un modèle sur lequel on a éliminé les distances les plus courtes (concrètement on retient les 132 observations sur lesquelles on a une distance supérieure à 500 km). Les résultats sont alors :

Tableau 41 : modèles additifs et multiplicatifs sur les envois à plus de 500 km

Forme de la fonction		Variable Expliquée	Variables explicatives					R ²	Nombre d'obs.
			Temps	Valeur	Poids	Distance	Constante		
Linéaire		Prix	-9,94 (-2,78)	0,0050 (2,93)	0,20 (6,93)	1,44 (2,37)	-3,36 (-0,01)	0,54	132
Log.		Prix	-0,19 (-1,79)	0,067 (1,23)	0,48 (13,81)	0,91 (2,89)	-2,30 (-1,15)	0,78	132
Statistiques Descriptives De l'échantillon	Moyenne	1092	41,15	39634	1757	667			
	Médiane	617	44	20000	394	637			
	Ecart- type	1190	21,23	51551	3181	120			

Ces résultats amènent à plusieurs observations :

- La quasi-totalité des variables est significativement différente de 0, à l'exception notable de la durée dans les deux modèles multiplicatifs et de la constante du premier modèle multiplicatif.
- La qualité de l'ajustement mesurée par le R² est moyenne. On peut voir là un effet du caractère simplifié du modèle dans lequel certaines variables explicatives du prix sont absentes (et notamment le type de marchandise concerné).

- Restreindre l'échantillon à des distances importantes n'augmente pas significativement la qualité de l'ajustement mesurée par son R^2 . Cette restriction induit cependant une modification importante de certains coefficients notamment celui de la durée qui est presque multiplié par 2.
- On peut s'interroger sur la portée d'un modèle limité aux seules distances supérieures à 500 km. On peut certes admettre que les observations utilisées pour l'estimation du modèle soient filtrées, mais ici il semble que cette sélection dénature les résultats de l'ajustement. Ces résultats gardent une signification mais celle-ci change puisque c'est alors la valorisation du temps pour les longues distances que traduit le coefficient de la durée.
- Le temps, bien qu'il ne soit pas toujours significatif, est du signe attendu (plus la durée est importante moins l'envoi est facturé à un prix élevé).

Qu'en conclure en terme de consentement à payer des chargeurs ou de valeur du temps ? En partant du modèle additif, on peut estimer l'effet d'une heure de temps économisée sur le prix payé par les chargeurs soit 4,70 FF / heure et par envoi. Il peut convenir de transformer cette donnée en terme d'heure gagnée par camion. On doit alors utiliser le nombre moyen d'envois par camions, soit 6,4 (25.000 kg/camion / 3.891 kg/envoi¹⁹⁶) ce qui aboutit à 30,1 FF par camion/h.

Au-delà du caractère séduisant de ces résultats, qui sont les seuls parmi ceux recensés à aboutir à une valorisation du temps, on doit faire plusieurs remarques :

- La valeur du temps basée calculée sur la base de ces estimations est fortement inférieure à celle retenue par les procédures actuelles.
- Ils reposent sur un modèle faiblement explicatif du prix payé pour les transactions.
- Ils sont obtenus à partir d'observations en général fiables, mais dont la plus importante, la durée de transport est entachée d'une erreur d'observation forte.

Malgré ces limitations, ces résultats apparaissent à ce jour comme les seuls ayant abouti à une mesure de la valeur du temps des chargeurs. Cela renforce la nécessité de produire des résultats complémentaires.

3 Application numérique

Dans cette partie, on souhaite d'estimer la valeur attribuée par les chargeurs pour des transports plus rapides. On présente tout d'abord les données utilisées, on sélectionne une spécification pour la fonction hédonique, puis on expose les résultats obtenus dans la première étape, enfin on examine s'il est possible de réaliser la seconde étape.

3.1 Présentation des données

On utilise les données provenant d'une enquête réalisée auprès des chargeurs dans la région Nord - Pas de Calais¹⁹⁷ en 1998. 215 établissements ont été interviewés dans les secteurs suivants : sidérurgie, chimie et plastiques, agriculture et industrie agroalimentaire. Les 20 derniers envois réalisés par l'entreprise ont été enregistrés, trois parmi eux ont été tirés au sort de manière aléatoire pour donner lieu à un questionnaire plus détaillé. Les envois retenus pèsent plus de 5 kilos. La chaîne de transport correspondant à ces envois était par la suite reconstituée jusqu'aux limites de l'Union Européenne, en contactant par téléphone l'ensemble des entreprises qui étaient intervenues lors de la chaîne de déplacement.

¹⁹⁶ Le poids moyen par envoi est tiré de l'enquête tandis que la capacité par camion est une donnée standard. Il serait utile sur ce point d'homogénéiser les données utilisées.

¹⁹⁷ Les modalités pratiques de l'enquête et les questionnaires utilisés sont présentés dans Guilbault et alii [2000, pp. 93-134].

La base de donnée obtenue est constituée de 652 envois, toutefois pour notre analyse nous n'avons pu retenir que 58 observations en raison des données non renseignées dans l'enquête. Ce chiffre est fortement plus limité que celui cité dans Guilbault et alii [2000] concernant la même enquête. Ceci est dû au fait que nous n'avons pas complété les informations manquantes du questionnaire chargeur par les informations correspondantes fournies par les questionnaires téléphoniques réalisés auprès des transporteurs. Ces 58 observations pourraient ne pas être représentatives de la population interrogée. Comparés à l'ensemble de l'échantillon, il s'agit d'envois significativement plus lourds, plus longs et plus coûteux (concernant le prix de la prestation de transport mais aussi la valeur du bien transporté), mais avec des distances et des vitesses inférieures. Pour cette raison les résultats numériques obtenus doivent être interprétés en termes d'indications plutôt que comme une mesure précise du phénomène étudié.

Un certain nombre d'envois (7) sont des envois ferrés. On serait tenté de vouloir les exclure de la base d'estimation en raison de leur mode différent. Toutefois, l'approche hédonique s'accommode de cette hétérogénéité : de manière intuitive plus les agents économiques considérés ont des comportements éloignés les uns des autres, et plus on arrive à mettre en lumière une gamme variée de comportements.

Variabes explicatives

Parmi les variables collectées, les plus importantes pour nous sont les suivantes :

- Prix payé pour le transport.
- Poids de l'envoi.
- Distance de l'envoi.
- Durée (temps écoulé entre le départ du bien et son arrivée à destination).
- Fourniture de services logistiques additionnels (groupage, dégroupage, location de containers, stockage).
- Valeur de la marchandise.

Les principales statistiques descriptives de ces variables sont présentées dans le Tableau 42.

Tableau 42 : données descriptives sur les envois

Variable	Moyenne	Médiane	Ecart-type
Prix (euro)	588,1	65,9	2214,81
Prix / km (euro/km.)	6,5	0,6	34,96
Val (k. euro)	26632	1524	118875
Distance (km.)	275,2	184,7	237,32
Poids (tonnes)	36,5	0,225	169
Durée (heures)	34,2	18	48,60
Val. / Poids (euro/kg.)	41436	4236	182850
Vitesse (km/ heures)	14,7	9,2	13,11

Spécification de l'équation de prix hédonique

On doit se demander à la fois quelles variables doivent être incluses dans l'équation hédonique, et sous quelle forme elles doivent y rentrer.

Quelles variables retenir ?

Les variables à retenir pour l'analyse doivent à la fois être génératrices de coût pour les offreurs et d'utilité (ou de profit) pour les demandeurs. Or, il n'est pas certain que tous les attributs remplissent ces deux conditions. Typiquement il n'est pas évident que l'attribut "valeur" entre dans la fonction de coût des transporteurs. Certes, ce point pourrait être discuté puisque les transporteurs pourraient avoir un comportement stratégique par rapport à la valeur des biens, en essayant de faire payer plus cher le transport des biens de plus forte valeur (on retrouve la notion de tarification "*ad valorem*"). Il existe donc une incertitude concernant l'étape dans laquelle il est pertinent d'intégrer certains attributs tels que l'attribut valeur.

Quelle que soit cette incertitude, on a avantage dans cette première étape à ne pas se restreindre à un ensemble de variables trop limitatif. Notamment les prestations logistiques annexes peuvent avoir un effet important sur le prix d'une prestation de transport. On dispose dans les données utilisées pour notre étude d'une variable décrivant ces prestations annexes. Cette variable a donc été incluse dans l'estimation de l'équation de prix hédonique.

Quelle variable expliquée ?

La seconde question est de savoir **sous quelle forme la variable** prix doit être retenue : prix à l'envoi, prix au km., à la t.km ? Cette interrogation n'est pas spécifique à notre objet et, pour s'en tenir à l'économie immobilière, des interrogations du même ordre existent, qui concernent, par exemple, le choix entre prix total ou prix au mètre carré des transactions immobilières¹⁹⁸. Dans le domaine des transports, on peut se baser sur une conclusion de Gouvenal et Hannappe [1995] "*sur le plan méthodologique, les résultats statistiques portant sur les valeurs observées : prix payé pour la réalisation du transport, taille de l'envoi, et distance sont bien meilleurs que ceux sur des variables calculées, du type F/kg ou F/t.km*". C'est donc cette unité qui concentrera l'essentiel de notre attention. En outre, les spécifications que nous utilisons retiennent parmi les variables explicatives des effets croisés. Par exemple, elles retiennent comme variable explicative du Prix la variable Distance×Valeur. Dès lors, une telle spécification peut rendre compte de relations multiples et par exemple, de l'effet de la valeur sur le prix kilométrique. Si la "vraie" relation concerne l'effet de la valeur sur le coût kilométrique, on peut ainsi en rendre compte même si l'on retient comme variable expliquée la variable prix de transport dans sa forme épiphanique.

En conclusion sur ce point, nous favorisons une spécification qui centre l'analyse sur le coût de la prestation de transport exprimée, pour la reprendre la terminologie de Gouvenal et Hannappe, "en valeurs observées", mais qui est suffisamment flexible pour rendre compte de déterminations plus complexes.

Choix d'une forme fonctionnelle

Une autre question concerne **la forme à retenir pour l'équation hédonique**. Sur ce point, il s'agit de trouver la spécification qui donne le meilleur ajustement de la courbe de prix, et il n'existe pas, sauf cas particulier (Tinbergen [1959]), de relation formelle entre, d'une part, les paramètres décrivant l'offre ou la demande (fonctions d'utilités ou fonctions de coût) et, d'autre part, la forme fonctionnelle de la fonction hédonique. Cassel et Mendelsohn [1985] nuancent toutefois le primat accordé à la qualité d'ajustement statistique : plus que la qualité générale de l'ajustement, il faut privilégier la qualité des estimations obtenues pour les attributs étudiés. Par exemple on pourra examiner la variance de l'estimation du prix marginal pour les attributs z_i étudiés, soit : $\text{var}(\hat{p}'_{z_i})$.

¹⁹⁸ Marchand et Skhiri [1995] favorisent l'utilisation du loyer total (hors charge) plutôt que le loyer par m² "*qui aurait engendré des problèmes d'endogénéité accumulant inutilement les difficultés*".

Sur la base de données de synthèse, Cropper et alii [1993] comparent la validité de 6 spécifications différentes (linéaires, semi-log, double log, quadratique, Box-Cox Linéaire, Box-Cox quadratique) pour estimer les paramètres des fonctions d'utilité sous-jacentes. Ils trouvent que, en l'absence d'erreur de mesure sur les variables exogènes, la spécification de type Box-Cox quadratique est supérieure aux autres. Par contre, si des erreurs de mesure sont présentes dans les données, la spécification Box Cox linéaire est préférable aux autres¹⁹⁹. Halvorsen et Pollakowski [1981] recommandent d'utiliser la forme la plus flexible possible. La transformation de Box-Cox quadratique qu'ils proposent peut être écrite comme :

$$p^{(\theta)} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i Z_i^{(\lambda)} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \gamma_{ij} Z_i^{(\lambda)} Z_j^{(\lambda)}, \text{ avec :} \quad (7.1)$$

p , prix,
 $\alpha_0, \alpha_i, \gamma_{ij}$, paramètres,
 m , nombre d'attributs,
 $p^{(\theta)} Z_i^{(\lambda)}$, transformées de Box Cox telles que :

$$p^{(\theta)} = \begin{cases} \frac{p^\theta - 1}{\theta} & \text{si } \theta \neq 0 \\ \text{Ln}(p) & \text{si } \theta = 0 \end{cases}$$

Tableau 43 : formes fonctionnelles obtenues de la "forme fonctionnelle flexible" proposée par Halvorsen et Pollakowski [1981]

	Forme fonctionnelle	Expressions.	Conditions sur les paramètres.
1	Translog :	$\text{LnP} = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln(Z_i) + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln(Z_i) \cdot \ln(Z_j)$	$\theta = 0, \lambda = 0.$
1.b	Cas particulier : Log -linéaire :	$\text{LnP} = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln(Z_i)$	Se déduit de la précédente avec : $\gamma_{i,j} = 0.$
2	Forme quadratique :	$\text{P}-1 = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i Z_i - 1 + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} (Z_i - 1) \cdot (Z_j - 1).$ Récrit comme : $\text{P} = c_0 + \sum_i c_i Z_i + \sum_i \sum_j \gamma_{ij} Z_i \cdot Z_j.$ ²⁰⁰	$\theta = \lambda = 1.$
2.b	Cas particulier : Forme linéaire :	$\text{P} = c_0 + \sum_i c_i Z_i$	Se déduit de la précédente avec : $\gamma_{i,j} = 0$
3	Forme quadratique généralisée racine carrée :	$\text{P} = (b_0 + \sum_i b_i Z_i + \sum_i \sum_j \gamma_{ij} Z_i \cdot Z_j)^{1/2}.$	$\theta = 2, \gamma = 1.$
3.b	Cas particulier : Forme quadratique racine carrée :	$\text{P} = (\sum_i \sum_j \gamma_{ij} Z_i \cdot Z_j)^{1/2}.$	Se déduit de la précédente avec : $b_0 = b_i = 0.$
4	Forme de Léontieff généralisée non homogène :	$\text{P} = a_0 + 2 \sum_i (a_i Z_i^{1/2}) + 2 \sum_i \sum_j \gamma_{ij} Z_i^{1/2} Z_j^{1/2}$	$\theta = 1, \gamma = 1/2.$
4.b	Cas particulier : Forme de Léontieff généralisée homogène linéaire :	$\text{P} = 2 \sum_i \sum_j \gamma_{ij} Z_i^{1/2} Z_j^{1/2}.$	Se déduit de la précédente en ajoutant : $a_0 = a_i = 0.$
5	Semi log :	$\text{LnP} = d_0 + \sum_{i=1}^m d_i Z_{it}$	Forme quadratique de Box Cox en ajoutant $\theta = 0, \lambda = 1 \gamma_{i,j} = 0.$

Remarque : on a indiqué en gras les formes fonctionnelles linéaires en leurs paramètres qui peuvent être estimées avec un logiciel courant.

¹⁹⁹ Toutefois, le caractère général des résultats de Cropper et alii [1993] est sujet à interrogation. Les simulations réalisées par les auteurs sont basées sur une fonction d'utilité quadratique et des quantités d'attributs exogènes.

²⁰⁰ Avec $C_0 = 1 + \alpha \sum_i (\alpha_i - \frac{1}{2} \sum_j \gamma_{ij}) = \alpha_i - \sum_j \gamma_{ij}.$

On constate ainsi l'amplitude des formes fonctionnelles disponibles et couramment utilisées. Encore ne présente-t-on ici qu'une partie de l'ensemble des ressources fonctionnelles utilisables, celles correspondant à des couples de valeurs *remarquables* des paramètres de la transformation de Box-Cox θ et λ : (0 ;0), (1;1), (2;1), (1; ½), (0;1).

Toutefois Cassel et Mendelsohn [1985] soulignent les **difficultés liées à l'utilisation des formes de Box-Cox flexibles**.

- La sélection d'un modèle basé sur le meilleur ajustement n'aboutit pas nécessairement à l'estimation la plus précise du prix d'une caractéristique. Il est même probable qu'en cherchant un bon ajustement on introduise un nombre supplémentaire de coefficients au risque de réduire la précision de chacun d'entre eux.
- Cette transformation est inadaptée à des données contenant des attributs en quantités négatives, car lorsqu'elle élève ces nombres à une puissance non entière elle produit des nombres imaginaires.
- Les transformations de Box-Cox sont inadaptées pour la prévision, parce que la moyenne de la valeur estimée pour la variable dépendante non transformée est en général différente de sa moyenne dans l'échantillon sur lequel elle a été estimée.
- L'expression des élasticités devient trop complexe pour pouvoir être commodément utilisée.

Plus généralement, Freeman [1979] rappelle que l'équation hédonique doit autoriser le prix marginal d'un attribut à être dépendant ou indépendant du niveau des autres et également à être croissant ou décroissant.

Importance du choix de la forme fonctionnelle

La question de la spécification n'est pas sans importance. La spécification retenue pour la fonction de prix hédonique $p(z)$ peut fortement influencer les prix marginaux obtenus.

D'un point de vue **empirique**, les résultats fournis par Estève [1996] suggèrent l'importance du choix entre forme additive et multiplicative. Mais on dispose en dehors de ces résultats de peu d'éléments dans le domaine des transports de marchandises. Toutefois la littérature donne des éléments intéressants pour d'autres types de biens. Vainio [1995] applique une approche hédonique à la valorisation des nuisances sonores par leurs effets sur les prix immobiliers. Il établit les comparaisons suivantes entre spécifications éligibles.

Tableau 44 : effet des transformations non linéaires sur les coefficients d'une fonction hédonique, exemple de l'application aux nuisances sonores

Type de modèle :	Taux de variation pour une augmentation de 1 dB(A) au-dessus de 55 dB(A)
Modèle linéaire :	-0,6
Modèle semi – linéaire :	Variable bruit non significative
Modèles logarithmiques :	-0,4 % -0,3 % -0,33 %
Box-Cox linéaire :	-0,32 %
Box-Cox Quadratique :	-0,18 %

Source : Vainio [1995]

Sur cet exemple, on constate que les résultats peuvent aller de 0 à -0,6, avec 4 résultats (sur 7) dans un intervalle relativement resserré (0,32 ;0,4). Harrison et Rubinfeld [1978] ont également dressé le même constat dans le domaine de la pollution atmosphérique. Ces éléments gagneraient à être complétés par des résultats portant sur d'autres domaines d'application. Du moins suggèrent-ils que les résultats d'une analyse hédonique sont sensibles à la spécification retenue pour la fonction hédonique.

D'un point de vue plus général et plus **théorique**, le problème est que certaines spécifications retenues pour la première étape impliquent des difficultés particulières pour le passage à la seconde étape. Ainsi que le notent Witte, Sumka et Erekson [1979], les formes semi-log et multiplicatives imposent de fortes contraintes a priori sur le coefficient d'un attribut dans l'équation qui détermine ses prix marginaux. Pour la forme semi-log on obtient un prix marginal sous la forme : $\hat{p}_i(z) = \hat{\beta}_i / z_i$ ce qui contraint le coefficient de l'attribut z_i obtenu dans la seconde étape à être négatif dans sa propre fonction de demande inverse : "on tendra à observer une relation négative entre le prix implicite et la quantité d'attribut indépendamment de la relation sous-jacente"^{xcviii} (Witte et alii [1979]). Ce résultat n'est en soi pas gênant car il correspond à l'hypothèse de décroissance de l'utilité marginale des biens, mais il ne semble pas légitime de l'imposer a priori.

Forme fonctionnelle retenue

Pour la présente application, il s'agit de trouver un compromis entre la flexibilité de la forme fonctionnelle et les possibilités offertes par les programmes statistiques disponibles pour l'estimation. Pour cette raison nous avons testé quatre spécifications : lin-lin (correspondant à θ et $\lambda = 1$), log-log (θ et $\lambda = 0$), lin-log (1;0), log-lin (0;1). Toutes ces spécifications comprennent ainsi un terme quadratique, qui est le produit croisé des variables (ou de leurs transformées). Cela permet au modèle de prendre en compte des effets non linéaires. Par exemple, si la "vraie" variable expliquée est le prix à la tonne et non le prix, en fonction de la distance, alors le paramètre du terme croisé Dist.Poids, rendra compte de cet effet dans l'estimation. Cela permet de relativiser l'effet du choix *a priori* effectué sur la variable expliquée.

Cette spécification amène à plusieurs remarques.

Tout d'abord, l'ensemble des spécifications que nous avons choisies ne **donne pas une flexibilité totale** à la fonction de prix hédonique. L'introduction d'un degré supplémentaire de souplesse pourrait améliorer l'ajustement du modèle²⁰¹.

En second lieu, la **première de ces quatre spécifications** implique des difficultés particulières. Puisqu'elle est linéaire en ses paramètres elle pourrait impliquer un prix marginal constant pour certains attributs, ceux dont les termes quadratiques seraient exclus de l'équation sur la base d'un test de significativité. Cela rendrait impossible de passer à la seconde étape. On choisit toutefois d'introduire cette spécification parmi celles étudiées parce que les deux raisons pour lesquelles on bannit en général la linéarité dans l'équation de prix pourraient ne pas être pertinentes dans le cas des transports de marchandises²⁰². Tout d'abord, on a noté que les coûts de production des offreurs ne sont pas croissants de manière univoque. Deuxièmement, il est possible de "décomposer" les services de transport par rapport à certains attributs (nommément : la distance, la durée et le poids). Pour ces raisons, et considérant que la linéarité ne peut pas être exclue pour la seule raison qu'elle rende impossible la seconde étape, nous avons choisi d'ajuster également un modèle sur cette spécification (potentiellement) linéaire.

Par ailleurs, on doit prendre en compte la possible **colinéarité entre certaines variables explicatives** : durée et distance d'une part, et, dans une moindre mesure, poids et valeur. Pour cette raison nous avons tenté d'inclure certains ratios dans les spécifications. La vitesse (distance/durée) est incluse

²⁰¹ Mais ce type de procédure n'était pas disponible à notre connaissance avec la licence SAS que nous avons pu utiliser.

²⁰² "linearity of $p(z)$ is unlikely so long as there is increasing marginal cost of attributes for sellers and it is not possible to untie packages"[la linéarité de $p(z)$ est improbable du moment où le coût marginal des attributs est croissant pour les vendeurs, et qu'il n'est pas possible de désassembler les biens composites"] (Rosen [1974]).

lorsque l'équation hédonique a une formulation linéaire²⁰³. Nous avons aussi cherché à introduire une variable de "densité de valeur" définie comme le ratio valeur/poids, mais cela ne s'est pas avéré satisfaisant en terme de significativité de la variable et d'ajustement du modèle. Enfin, on reconnaît qu'il existe un certain nombre de questions économétriques qui se posent pour l'estimation, et notamment des risques d'hétéroscedasticité de certaines variables ou d'endogénéité de certains régresseurs. Ces points mériteraient une analyse complémentaire.

3.2 Résultats de la première étape

Le tableau ci-après fournit les résultats de l'estimation pour les quatre modèles. Il inclut l'estimation des coefficients, la probabilité critique associée au t de Student sur les coefficients (0,05 signifie 5% de probabilité). Il fournit également le test de F et le R² ajusté pour chaque modèle.

Ce tableau suggère les commentaires suivants : l'attribut "durée" n'apparaît jamais significatif tel quel (pour un risque α de 10 %). Par contre, il apparaît significatif sous la forme de termes croisés dans les modèles lin-lin et lin-log : par exemple combiné au Poids (une fois avec un signe positif, une fois avec un signe négatif), à la valeur (deux fois avec le signe positif) et la distance (une fois avec le signe négatif). Il apparaît également avec les vitesses dans les modèles lin-lin et log-lin. Dans le modèle log-log, le temps reste absent de l'équation, que ce soit sous sa forme originelle ou sous la forme du ratio vitesse. Pour cette raison nous n'analysons pas les résultats du modèle log-log.

²⁰³ Lorsque cette équation est logarithmique, nous ne procédons pas de la sorte puisque cela introduirait une colinéarité exacte parmi les régresseurs : $\ln(\text{vitesse}) = \ln(\text{dist.}) - \ln(\text{durée})$.

Tableau 45 : estimation de l'équation de prix hédonique (sélection pas à pas par élimination, y.c. transport ferroviaire, variable expliquée est le prix en FF 98)

Variable explicative	Lin lin.	Lin log.	Log lin.	Log lin.
	Coefficient (Prob critique)	Coefficient (Prob critique)	Coefficient (Prob critique)	Coefficient (Prob critique)
Constante :	-195,8 (0,3831)	104279,0 (<,0001)	4,6 (<,0001)	-2,9 (0,2017)
Poids (kg)	0,05 (<,0001)	-10555,0 (<,0001)	-	-
Valeur (FF)	-	-16661,0 (<,0001)	1,18E-05 (<,0001)	0,7712 (0,001)
Distance (km)	-	-	-	0,7425 (0,0803)
Durée (heures)	-	-	-	-
Vitesse (km./h)	81,6253 (<,0001)	-	0,0981 (<,0001)	-
Prestations logistiques	-	-	-	0,4786 (0,0148)
Poids* Valeur	-	1480,9 (<,0001)	-1,48E-11 (<,0001)	-
Poids* Distance	0,0008 (<,0001)	-	2,68E-07 (<,0001)	0,0740 (<,0001)
Poids* Durée	-	-1233,6 (0,0315)	1,40E-06 (0,0012)	-
Valeur* Distance	-0,00007 (<,0001)	686,3 (0,0009)	-1,48E-08 (0,0013)	-0,0945 (0,032)
Valeur* Durée	0,0005 (<,0001)	2043,7 (0,0018)	-	-
Distance* Durée	-	-2538,7 (0,0001)	-	-
Poids* Vitesse	-0,0042 (0,0021)	-	-	-
Distance* Vitesse	-0,0995 (0,0004)	-	-0,00011 (0,0027)	-
Vitesse* Value	-	-	-5,13E-07 (0,0001)	-
R ² ajusté	0,99	0,77	0,69	0,85
test F	2057,43	28,99	17,43	65,94

La présence de la variable "durée" sous des formes multiples rend difficile une interprétation directe des coefficients. On propose alors de passer au calcul des dérivées de la fonction hédonique.

Calcul des prix marginaux

Le Tableau 46 fournit l'équation de prix hédonique et de prix marginal pour l'attribut "durée" selon trois spécifications.

Tableau 46 : équations de prix hédonique et de prix marginal de la durée de transport

Spécification	Prix hédonique	Prix marginal de l'attribut durée
Log-log	(7.2) $\hat{p} = \hat{\beta} + \hat{\beta}_P \cdot P + \hat{\beta}_{Vit} \cdot Vit + \hat{\beta}_{Val \cdot Dur} \cdot Val \cdot Dur + \hat{\beta}_{P \cdot Dist} \cdot P \cdot Dist + \hat{\beta}_{Val \cdot Dist} \cdot Val \cdot Dist + \hat{\beta}_{P \cdot Vit} \cdot P \cdot Vit + \hat{\beta}_{Dist \cdot Vit} \cdot Dist \cdot Vit$	(7.3) $\hat{p}'(Dur) = -\hat{\beta}_{Vit} \cdot Dist \cdot (1/Dur^2) + \hat{\beta}_{Val \cdot Dur} \cdot Val - \hat{\beta}_{P \cdot Vit} \cdot P \cdot Dist \cdot (1/Dur^2) - \hat{\beta}_{Dist \cdot Vit} \cdot Dist^2 \cdot (1/Dur^2)$ (7.4) $\hat{p}'(Dur) = (-\hat{\beta}_{Vit} \cdot Dist - \hat{\beta}_{P \cdot Vit} \cdot P \cdot Dist - \hat{\beta}_{Dist \cdot Vit} \cdot Dist^2) \cdot (1/Dur^2) + \hat{\beta}_{Val \cdot Dur} \cdot Val$
Lin - log	(7.5) $\hat{p} = \hat{\beta} + \hat{\beta}_P \cdot Ln(P) + \hat{\beta}_{Val} \cdot Ln(Val) + \hat{\beta}_{P \cdot Val} \cdot Ln(P) \cdot Ln(Val) + \hat{\beta}_{P \cdot Dur} \cdot Ln(P) \cdot Ln(Dur) + \hat{\beta}_{Val} \cdot Ln(Val) + \hat{\beta}_{Val \cdot Dur} \cdot Ln(Val) \cdot Ln(Dur) + \hat{\beta}_{Dist \cdot Dur} \cdot Ln(Dist) \cdot Ln(Dur)$	(7.6) $\hat{p}'(Dur) = \hat{\beta}_{P \cdot Dur} \cdot Ln(P) \cdot (1/Dur) + \hat{\beta}_{Val \cdot Dur} \cdot Ln(Val) \cdot (1/Dur) + \hat{\beta}_{Dist \cdot Dur} \cdot Ln(Dist) \cdot (1/Dur)$ (7.7) $\hat{p}'(Dur) = (1/Dur) \cdot \{ \hat{\beta}_{P \cdot Dur} \cdot Ln(P) + \hat{\beta}_{Val \cdot Dur} \cdot Ln(Val) + \hat{\beta}_{Dist \cdot Dur} \cdot Ln(Dist) \}$
Log - lin	(7.8) $\hat{p} = \exp(\hat{\beta} + \hat{\beta}_{Val} \cdot (Val) + \hat{\beta}_{Vit} \cdot (Dist/Dur) + \hat{\beta}_{P \cdot Val} \cdot (P) \cdot (Val) + \hat{\beta}_{P \cdot Dist} \cdot (P) \cdot (Dist) + \hat{\beta}_{P \cdot Dur} \cdot (P) \cdot (Dur) + \hat{\beta}_{Val \cdot Dist} \cdot (Val) \cdot (Dist) + \hat{\beta}_{Vit \cdot Dist} \cdot Dist \cdot Vit + \hat{\beta}_{Vit \cdot Val} \cdot Val \cdot (Dist/Dur))$	(7.9) $\hat{p}'(Dur) = \{-\hat{\beta}_{Vit} \cdot (Dist/Dur^2) - \hat{\beta}_{Vit \cdot Dist} \cdot (Dist^2/Dur^2) - \hat{\beta}_{Vit \cdot Val} \cdot Val \cdot (Dist/Dur^2) + \hat{\beta}_{P \cdot Dur} \cdot P\} \cdot \hat{p}(Dur)$

Notations : Val = Valeur, Dist = Distance, Dur = durée, P = Poids, Vit = Vitesse

Le Tableau 47 fournit les principales statistiques descriptives des prix marginaux obtenus pour les trois spécifications retenues du prix marginal de la durée. On note que les résultats pour être comparés aux consentements à payer des entreprises pour une *réduction* de la durée doivent être changés de signe.

Tableau 47 : prix marginaux de la durée de transport pour différentes spécifications (euro/h envoi)

Spécification	Médiane	Moyenne	Max	Min	Ecart-type	% valeurs négatives
Lin - lin	-1,12	18,47	1310,07	-111,5	176,24	62 %
Lin - log	-9,78	18,63	515,98	-94,29	104,49	66 %
Log - lin	-0,35	273,52	15189,96	-195,01	2013,16	72 %

Une moyenne de 18,4 Euro98/envoi et par heure dans le modèle linéaire indique que, en moyenne, le prix payé par envoi augmente de 18 euros quand la durée d'expédition augmente de 1 heure / diminue de 18 euros lorsque la durée diminue de 1 heure. Ce résultat n'est pas de signe attendu et se reproduit pour les deux autres spécifications. On note que les moyennes des deux premiers modèles sont étonnamment proches. On constate que les médianes fournissent par contre une indication de signe négatif attendu (mais de faible amplitude). La dernière colonne nous fournit une indication sur la part des observations pour lesquelles on obtient le signe attendu (négatif).

3.3 Peut-on appliquer la deuxième étape ?

La seconde étape consiste à estimer les fonctions de demande inverse et d'offre inverse définies par :

$$p'(z_i) = F_i(z_1, \dots, z_n, S_1, \dots, S_n; e_1) \tag{7.10}$$

où les S_i ($i=1, \dots, N$) sont les caractéristiques des fournisseurs, et :

$$p'(z_i) = G_i(z_1, \dots, z_n, D_1, \dots, D_n; e_2) \tag{7.11}$$

où les D_i ($i=1, \dots, N$) sont les caractéristiques des demandeurs et où e_1 et e_2 sont des termes d'erreur.

Choix de la spécification

Si nous voulons passer à la seconde étape il faut tout d'abord s'interroger sur la spécification des fonctions de demande inverse et d'offre.

Comme l'ont souligné Brown et Rosen [1982] si l'on n'introduit pas de restrictions ou d'informations supplémentaires dans l'estimation de la seconde étape, les équations de demande inverse ne feront que reproduire les résultats de la première étape. L'information nécessaire pour éviter cet écueil peut être obtenue de deux manières.

- (i) Une solution est d'utiliser des données provenant de plusieurs marchés, à conditions que ces marchés soient caractérisés concomitamment par des différences dans les conditions de l'offre et par une l'identité des paramètres de la demande. Cette approche a été notamment utilisée dans l'analyse des marchés immobiliers en s'appuyant sur l'hypothèse qu'il peut exister sur les différents marchés des éléments propres qui agissent sur l'offre, tandis que les paramètres de la demande pourraient être identiques entre les marchés. Cette méthode aboutit à des résultats lorsque le consommateur ne choisit pas le marché sur lequel il est affecté, mais doit choisir sur celui-ci une variété. On peut également fonder cette approche multi-marché non pas sur une segmentation spatiale des données mais sur une segmentation temporelle : on utilise alors des données provenant d'un marché unique, mais observé à des périodes différentes. Dans cette dernière situation il faut pouvoir supposer que les équations de demande inverse sont identiques d'une période à l'autre mais que certains éléments de l'offre se modifient d'une période à l'autre.
- (ii) Une autre solution est d'introduire des attributs supplémentaires des fonctions de demande inverses ; ou alternativement d'exclure certains attributs, bien que Lucas [1975] souligne qu'il n'y a pas de raison qu'un attribut entrant dans la fonction de prix hédonique ne doive pas être présent à la fois dans l'utilité et dans les fonctions de coûts.

Peut-on appliquer une de ces approches à notre analyse ?

Concernant la solution (i), il est probable que ce que l'on appelle le marché du fret corresponde en fait à plusieurs marchés. Ces marchés ne se définissent probablement pas selon un critère spatial (ce qui pour une activité de transport serait étrange). Ils peuvent être établis sur une segmentation relative aux caractéristiques des biens (transport en vrac, transport en température dirigée). Si de tels segments se définissent par rapport aux caractéristiques intrinsèques des biens il est alors possible que les demandeurs soient captifs d'un marché (le producteur de frais est captif du transport sous température dirigée). Mais la difficulté est alors que la demande ne peut pas être supposée identique entre les marchés. Les marchés pourraient être segmentés selon différentes périodes, en supposant que la demande des chargeurs reste constante entre périodes et que l'offre subit des modifications exogènes entre périodes (taxation, évolution des infrastructures). Cela pourrait représenter une approche adaptée pour des données que nous utilisons mais cette segmentation n'est pas disponible pour le marché que nous étudions. Cette difficulté, ajoutée au faible nombre d'observations que nous aurions par segment quel que soit le critère de segmentation utilisé, nous empêche d'utiliser cette approche.

Une autre approche serait de se baser sur la solution (ii) puisqu'il est à la fois possible et sensé d'inclure des variables supplémentaires dans la seconde étape. Les variables suivantes peuvent être introduites :

- **Offre** : technologie (rail, route)
- **Demande** : nature du bien (une variable dummy pour les biens périssables, une variable dummy pour les biens agroalimentaires non périssables, l'ensemble des autres biens étant supposés appartenir au même groupe de biens), valeur du bien.

Identification

Si la spécification des fonctions de demande et d'offre inverse est définie, apparaît une autre série de difficultés liées à (i) l'identification de l'offre et de la demande, (ii) le choix des estimateurs appropriés pour obtenir des paramètres sans biais. Freeman [1979] propose l'utilisation des Moindres Carrés Ordinaires dans les conditions suivantes : si le niveau d'attribut de chaque variété est fixe ou si l'offre de l'attribut z_i est parfaitement élastique (ce qui signifie que les variétés peuvent être achetées avec toute quantité de l'attribut z_i au même prix) et que la fonction d'enchère marginale peut être inversée. Ces deux situations correspondent à des fonctions de demande verticales ou horizontales pour lesquelles il n'y a pas de problème d'identification. Toutefois aucune de ces deux situations ne s'applique au transport de marchandises²⁰⁴. Rosen [1974] propose d'utiliser les moindres carrés à deux étapes pour estimer simultanément le système d'équations qui, pour un bien à N attributs est composée de N fonctions d'offre et de N fonctions de demande.

La difficulté est que, même en supposant que les conditions de rang et d'ordre soient satisfaites pour l'identification, on butte sur une autre difficulté en raison du risque de corrélation entre les attributs et le terme aléatoire. Pour éviter cette difficulté, il est nécessaire de disposer de variables instrumentales qui soient non corrélées avec les termes d'erreurs des équations d'offre et de demande. Une autre approche serait d'utiliser des moindres carrés à trois étapes, mais ici encore des Variables Instrumentales appropriées sont nécessaires, cela ne semble pas possible avec les données dont nous disposons. Aussi, comme dans la grande majorité des approches hédoniques (Freeman [1979]), l'analyse préalable à l'estimation de la deuxième étape souligne des interrogations, qui en l'état ne peuvent être levées.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appliqué l'approche hédonique aux transactions observées sur le marché du transport des marchandises pour mesurer le consentement à payer des chargeurs pour un gain de temps. De cette analyse nous pouvons tirer des conclusions à la fois sur la méthode, sur les résultats empiriques obtenus et sur leur utilisation à des fins normatives.

Concernant **la méthode**, les prestations de transports présentent certes des différences par rapport aux autres biens habituellement analysés par la méthode hédonique. Les principales différences sont : la possible non-monotonie des fonctions d'enchères et d'acceptation, la possibilité pour l'entreprise d'acheter plusieurs "variétés" de service de transport, la continuité des attributs pour les variétés offertes sur le marché, le nombre élevé d'offres et de demandeurs. Toutefois nous n'avons pas identifié parmi ces éléments, des caractéristiques qui feraient obstacle à l'application de l'analyse hédonique. Certaines difficultés méthodologiques doivent cependant être prises en compte, qui sont liées au rôle de certains attributs de la prestation de transport. En particulier, la variable "poids" pourrait être vue non pas comme un attribut du transport mais comme la quantité de service de transport consommée ; tandis que l'attribut valeur pourrait être traité non pas comme une caractéristique du service de transport mais comme une caractéristique des entreprises.

D'un point de vue empirique, notre application aux données de l'enquête chargeurs dans la région Nord-Pas de Calais produit des ajustements satisfaisants du prix de la transaction en fonction de la durée (ou de la vitesse) et d'autres variables. Bien que subsistent certaines questions non résolues concernant la spécification de l'équation de prix hédonique, nous trouvons qu'un ajustement linéaire semble le plus adapté aux données d'application. Concernant les **résultats** numériques, nos résultats sont marqués par

²⁰⁴ Même si ces conditions étaient respectées dans nos données, nous aurions besoin de prendre en compte d'autres objections par rapport à la situation décrite par Freeman, en considérant les possibles corrélations entre la composante individuelle du terme aléatoire et les quantités d'attributs sélectionnés par les consommateurs. Cela pourrait créer des problèmes d'endogénéité.

une forte dispersion des prix marginaux et par l'existence d'une proportion de prix marginaux du signe non attendu qui paraît importante.

Enfin, de telles mesures, si elles sont consolidées par d'autres résultats peuvent fournir des éléments utilisables dans le cadre d'**une analyse coûts-avantages**. Un chargeur qui maximise son profit égalisera le coût marginal d'une réduction des durées de transport avec les bénéfices marginaux de cette réduction. Toutefois lorsque la réduction des durées de transport peut être obtenue, sans coût, du fait d'une modification exogène de l'offre de transport, l'entreprise peut bénéficier de ces avantages sans contrepartie. Ces bénéfices ont donc leur place dans l'analyse coûts-avantages des modifications de l'offre de transport.

Chapitre 8 : Une mesure de l'hétérogénéité des valeurs du temps des chargeurs sur la base de Préférences Déclarées

Introduction

Les chapitres précédents nous ont plusieurs fois amené à utiliser la notion d'hétérogénéité, que celle-ci caractérise les transporteurs, les producteurs ou encore les consommateurs finaux. Ainsi, le chapitre 4 a présenté les méthodes utilisées en économie des transports, pour rendre compte de la variabilité des préférences des chargeurs et des transporteurs. Les Chapitres 5 et 6, ont montré de quelle manière était déterminé le consentement à payer des chargeurs pour une diminution marginale des durées de transport. Ces chapitres ont suggéré plusieurs modes de traitement de l'hétérogénéité : un traitement par une approche hédonique qui rend compte de l'appariement des offreurs et de demandeurs en fonction de la sensibilité de leurs fonctions-objectifs aux différentes durées. Cette approche a été l'objet du chapitre 7. Une autre approche est de recourir aux méthodes qui se sont développées dans le cadre du paradigme de maximisation de l'utilité stochastique et dont les applications au transport de marchandises sont peu nombreuses.

Dans le présent chapitre, nous nous proposons d'analyser les déterminants de l'hétérogénéité des valeurs du temps entre chargeurs ; puis, pour mesurer celle-ci, de mettre en œuvre certaines techniques d'estimation basées sur l'introduction de termes d'interaction et sur l'utilisation de coefficients stochastiques. Nous procédons en trois temps.

Dans une première partie, on examine de quelle manière une compréhension adéquate des déterminants de la valeur du temps permet d'expliquer sa variabilité entre les chargeurs. Cette partie pourrait s'intituler "**expliquer l'hétérogénéité**". Elle reprend notamment la distinction entre biens génériques et biens spécifiques.

Dans une seconde partie, on examine comment "**représenter l'hétérogénéité**". On présente les différentes techniques disponibles et on analyse comment elles peuvent être mises en œuvre. Notamment l'utilisation de modèles Logit à coefficients stochastiques nécessite de spécifier a priori une loi de distribution des coefficients au sein de la population étudiée. Le choix de cette distribution n'étant pas sans effet sur les résultats obtenus, on doit rechercher des éléments qui, basés sur la théorie économique ou statistique, permettent de sélectionner la forme de la distribution.

Dans une troisième partie, on utilise des données empiriques, collectées lors d'une enquête réalisée auprès des chargeurs en Italie, pour "**mesurer l'hétérogénéité**".

1 Expliquer l'hétérogénéité

Le chapitre 6 a établi de quelle manière les déterminants du consentement à payer des chargeurs pour un gain de temps de transport sont différents en fonction de la nature générique ou spécifique des gains de temps. L'analyse des déterminants de l'hétérogénéité des valeurs du temps doit s'effectuer dans le cadre de cette distinction.

Pour les biens spécifiques

Le consentement à payer d'un producteur de biens spécifiques pour une *diminution* marginale des temps de transports s'écrit selon l'équation (6.13)²⁰⁵ :

$$\text{cap}_e^s = -(r'_t - ci'_t), \text{ avec :} \quad (8.1)$$

cap_e^s ,	consentement à payer des entreprises pour une <i>diminution</i> marginale des durées de transport (bien spécifique),
r'_t ,	$\delta r / \delta t$, dérivée de la fonction de revenu par rapport à la durée de transport (r'_t est négative : les revenus décroissent pour une augmentation des durées),
ci'_t ,	$\delta ci / \delta t$, dérivée des coûts d'immobilisation en fonction des durées de transport (positive pour une augmentation des durées).

Chacun des deux termes situés à droite du signe égal est source d'hétérogénéité.

- En premier lieu, le terme r'_t exprime la sensibilité des recettes de l'entreprise par rapport au moment de la livraison. Ce terme est distribué au sein des entreprises selon :
 - la distribution de l'utilité marginale temporelle des consommateurs et,
 - la distribution de l'utilité marginale de la monnaie (et donc du revenu) parmi les consommateurs auxquels une entreprise vend ses produits.
- En second lieu, le terme ci'_t reflète la distribution des coûts d'immobilisation entre producteurs. Ce terme est lui-même la résultante de plusieurs phénomènes :
 - coûts financiers d'immobilisation,
 - coûts liés aux risques de perte et de dommages lorsque ceux-ci sont proportionnels au temps de transport,
 - perte de valeur du bien lorsque le bien est périssable.

Il est ainsi possible de décomposer les déterminants du consentement à payer des entreprises selon plusieurs sources. Cette décomposition suggère plusieurs commentaires.

Tout d'abord, on montre ainsi le **rôle déterminant de la valeur de l'envoi**. Cet élément est présent de manière implicite dans les deux composantes de la *valeur du temps* représentées dans l'équation (8.1). Notamment les trois éléments de la fonction $ci(t)$ dépendent de la valeur du bien transporté. Cette détermination agit de manière complexe puisque ce qui importe est la valeur de l'envoi (valeur du bien \times nombre d'unités du bien par envoi) et non la valeur de l'unité de produit. La relation entre valeur du bien et valeur du temps est donc de nature indirecte puisqu'elle fait intervenir le choix de la taille des envois (et le choix de mode) et est, en outre, contrainte par le volume des biens et/ou leur poids.

En second lieu, certaines caractéristiques liées à la nature du bien déterminent ce consentement à payer. C'est le cas, de manière la plus évidente, du caractère périssable de la marchandise.

En troisième lieu, le consentement à payer des entreprises dépendra du consentement à payer des clients pour en anticiper la livraison d'un bien spécifique.

²⁰⁵ On ajoute une notation "s" en exposant de la notation cap pour signaler ici qu'il s'agit d'un bien spécifique.

Ces éléments permettent ainsi d'identifier de manière précise les sources du consentement à payer pour une réduction des durées de transport, lorsque les producteurs doivent produire un bien spécifique pour leur client. Ces mécanismes ne sont toutefois pas transférables aux situations dans lesquels les biens sont génériques et peuvent donner lieu à une stratégie de stock optimal. Qu'en est-il ?

Pour les biens génériques

Pour les biens **génériques**, nous avons établi (équations (6.4) et (6.5), p. 246) une expression du consentement à payer des chargeurs pour une réduction des durées de déplacement conforme au modèle de Baumol et Vinod [1970]. La réduction des coûts logistiques annuels pour une modification marginale de la durée de transport s'écrit :

$$\delta C / \delta t = uT + \frac{wkT}{2((s+t)T)^{1/2}}, \text{ avec (notations des auteurs) :} \quad (8.2)$$

C,	coût logistique annuel,
u,	coût d'immobilisation par unité de temps,
w,	coût de stockage par unité et par an,
t,	durée de transport,
s,	fréquence annuelle des envois.
T,	quantité totale de bien transportés,
k,	probabilité acceptée de rupture de stock.

Pour un *envoi* le consentement à payer s'écrit alors :

$$\text{cap}_e^g = \frac{1}{s} \left(uT + \frac{wkT}{2((s+t)T)^{1/2}} \right), \quad (8.3)$$

Le premier terme de la parenthèse reflète les coûts d'immobilisation proportionnels aux durées de transport, tandis que le second terme reflète la baisse des coûts de stockage. L'hétérogénéité de la valeur du temps des producteurs de biens génériques sera donc déterminée par la distribution de ces paramètres parmi les entreprises. Notamment, la valeur du bien a un effet déterminant sur chacun des deux termes. En second lieu la probabilité de rupture de stock acceptée par l'entreprise est également un déterminant de la valeur du temps : plus cette probabilité est faible (plus l'entreprise est prête à supporter des coûts pour éviter de perdre une vente), plus la quantité de biens en stock est élevée, plus la valeur du stock est importante, et plus, enfin, une diminution relative du stock a un effet important sur les coûts de stockage.

Conclusions

L'analyse des déterminants du consentement à payer des chargeurs nous amène à deux conclusions.

La première est que l'on gagne à représenter la distribution des valeurs du temps par un **mélange de distributions statistiques**. La probabilité qu'un chargeur ait un consentement à payer égal à v , pourra s'écrire :

$$P(\text{cap} = v) = P(\text{Gén.}) \times P(u + wkT/2((s+t)T)^{1/2} = v|_{\text{gén.}}) + P(\text{Spéc.}) \times P(r'_t + ci'_t = v|_{\text{spéc.}}), \text{ avec :} \quad (8.4)$$

$P(vdt=v),$	probabilité pour qu'un chargeur ait un consentement à payer égal à v ,
$P(\text{Gén.}),$	probabilité pour qu'un chargeur fasse transporter un bien générique,
$P(u + wkT/2((s+t)T)^{1/2} = v _{\text{gén.}}),$	probabilité pour qu'un bien générique ait une diminution des coûts (immobilisation + réduction des coûts du stock optimal) égale à v ,
$P(\text{Spéc.}),$	probabilité pour qu'un chargeur fasse transporter un bien spécifique,
$P(-r'_t + ci'_t = v _{\text{spéc.}}),$	probabilité pour qu'un bien spécifique ait la somme des revenus marginaux temporels et des coûts d'immobilisation égale à v .

La seconde conclusion est qu'en analysant les fondements de la valorisation du temps par les chargeurs on ne rencontre pas les critères de segmentation les plus fréquemment utilisées, par exemple la distance de l'envoi et le secteur de l'entreprise. Notre hypothèse sur ce point est que de telles segmentations appartiennent plus à l'ordre des corrélations qu'à l'ordre de la causalité ou, en d'autres termes, **elles sont plus descriptives qu'explicatives**. Cette hypothèse invite à rechercher plus en amont si l'on trouve ces critères de segmentation et les déterminants des valeurs du temps. Concernant la **distance**, une source possible d'une telle corrélation est à chercher dans la distribution spatiale des producteurs. S'il existe une relation entre la répartition des entreprises dans l'espace et valeur du bien, on observera alors une relation entre valeur du temps et distance de transport. Cette hypothèse trouve une illustration particulière dans le cas des ressources naturelles, dont la localisation est exogène. Si une ressource naturelle est concentrée dans un nombre limité d'emplacements, alors on observera des flux à longue distance pour cette marchandise, ce qui créera une corrélation entre distances et valeurs du temps. Dans d'autres cas, la localisation des activités économiques sera endogène. Mais, ici encore, les mécanismes déterminants la distribution spatiale des activités pourront créer une corrélation entre distance et valeur du temps. Concernant le **secteur**, on est tenté de conclure que ce dernier n'est pas en lui-même un déterminant de la valeur du temps des chargeurs. Par contre, la distribution de la valeur unitaire des envois entre les secteurs ou encore la distribution du caractère spécifique ou générique des biens selon les secteurs, créent une corrélation entre valeurs du temps et secteurs.

L'analyse réalisée dans les chapitres 5 et 6 peut ainsi être mise à profit pour connaître les déterminants de la valeur du temps des chargeurs. Ces éléments peuvent alors être mis en relation avec les développements récents des méthodes d'estimation présentées dans le chapitre 4.

2 Représenter l'hétérogénéité

Le chapitre 4 nous a permis de présenter les différents modes de représentation de l'hétérogénéité des valeurs du temps dans le cadre du paradigme de Maximisation de l'Utilité Stochastique. Nous avons proposé les catégorisations suivantes :

1. Prise en compte de l'hétérogénéité par le terme stochastique.
2. Modèles avec interactions.
3. Modèles à segmentation a priori.
4. Modèles à classes latentes.
5. Modèles à coefficients stochastiques ou à valeur du temps distribuée.
6. Modèles à valeur du temps individuelle.

On se concentrera sur deux méthodes particulières : les modèles avec termes d'interaction et les modèles à coefficients stochastiques. Les premiers, parce qu'ils offrent la possibilité d'identifier les variables qui sont corrélées avec des différences de valeur du temps ; les seconds, parce qu'ils représentent en quelque sorte l'autre extrémité en la matière : ils rendent compte de la variabilité mais ils

ne la spécifient pas. On examinera aussi de quelle manière on peut combiner ces deux approches afin de rendre compte à la fois de l'hétérogénéité spécifiée et de l'hétérogénéité non spécifiée.

2.1 Mode opératoire

On présente tout d'abord le modèle avec termes d'interaction, avant de présenter le modèle logit à coefficients stochastiques.

Modèles avec termes d'interaction

Un modèle avec termes d'interaction peut s'écrire sous la forme (équation (4.7) du chapitre 4) :

$$U_n(i) = \beta_i + \sum_{j=1}^J \beta_j X_j + \sum_{k=1}^K \beta_{ki} Z_k + \frac{1}{2} \beta_{jk} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_j Z_k, \text{ avec :} \quad (4.7)$$

i ,	alternative,
n ,	individu/entreprise,
j ,	attribut,
k ,	caractéristique,
$U_n(i)$	utilité de l'alternative i pour l'entreprise n ,
X_j	attribut j de l'alternative,
Z_k	caractéristique k de l'individu / l'entreprise n ,
β_i	constante spécifique à l'alternative i ,
β_j	coefficient de l'attribut j ,
β_{ki}	coefficient de la caractéristique k pour l'alternative i ,
β_{jk}	coefficient de l'effet croisé entre la caractéristique k et l'attribut j .

Ce modèle permet pour $\beta_{jk} \neq 0$ de prendre en compte le fait que l'attribut j n'aura pas le même effet sur les préférences d'un chargeur selon le niveau de la caractéristique k . De la sorte, l'effet de la durée pourra être différent pour les envois selon, par exemple, la valeur de l'envoi. L'avantage de cette formulation est qu'elle permet d'identifier les caractéristiques de l'entreprise qui sont liées à une différence dans les préférences des entreprises. Corrolaire : cette méthode ne peut pas rendre compte de sources d'hétérogénéité qui n'auraient pas été identifiées. Sur ce point les modèles logit à coefficients stochastiques offrent une alternative permettant de rendre compte également d'une hétérogénéité non spécifiée.

Modèle logit à coefficients stochastiques

On présente ici le modèle tel qu'il est formulé par McFadden et Train [2000] et Train [2003]. Dans ce cadre, on représente l'utilité d'un chargeur n qui doit choisir parmi J alternatives dans T situations de choix²⁰⁶ par :

$$U_{nit} = \beta_n' X_{nit} + \varepsilon_{nit}, \text{ avec} \quad (8.5)$$

X_{nit} , vecteur de variables explicatives déterministes observées,
 β_n , coefficients propres à l'individu n ,
 ε_{nit} , terme de perturbation pour l'individu n , l'alternative i , le choix t .

Les termes β_n et ε_{nit} ne sont pas observés par l'analyste et sont stochastiques. Si l'on adopte le paradigme de maximisation de l'utilité stochastique, le chargeur choisit l'alternative qui a l'utilité la plus élevée, il choisit l'alternative i ssi :

$$U_{ni} > U_{nj}, \forall j \neq i. \quad (8.6)$$

Le coefficient β_n est supposé suivre une distribution indépendante de ε et de X avec une densité $f(\beta/\theta)$, où θ représente le(s) paramètre(s) de distribution de β au sein de la population (par exemple la moyenne et la variance). La notation n indique que les paramètres peuvent varier entre individus, mais sont fixe parmi les différents choix d'un même individu. Une telle spécification permet de rendre compte des variations des préférences entre individus.

Le terme aléatoire ε_{nit} est supposé Distribué Indépendamment et Identiquement selon une loi de Gumbel (ou "extreme value"). Si l'analyste pouvait observer pour chaque individu les coefficients β_n , les probabilités de choix pourraient être traitées par un logit standard. La probabilité conditionnelle à β_n s'écrirait :

$$L_{ni}(\beta_n) = \frac{\exp(\beta_n' X_{ni})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta_n' X_{nj})}, \text{ avec :} \quad (8.7)$$

$L_{ni}(\beta_n)$ Probabilité de choix de l'alternative i en fonction de la valeur des coefficients.

Mais puisque le chercheur ne connaît pas β_n , la probabilité de choix s'exprime comme l'intégrale de $L_{ni}(\beta_n)$ pondérée par la densité $f(\beta/\theta)$ sur l'ensemble des valeurs de β_n .

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta_n) f(\beta|\theta) d\beta \quad (8.8)$$

²⁰⁶ L'écriture du modèle logit peut en général négliger la notation T . Mais dans de nombreux cas, on collecte plusieurs choix auprès des personnes interviewées, on peut donc introduire une notation supplémentaire pour rendre compte de l'existence de plusieurs choix pour chaque individu. Cette notation supplémentaire est utile ici pour pouvoir utiliser dans l'estimation le fait que T observations ont été collectées pour la même entreprise.

Par exemple, si la densité de β est représentée par une loi normale de moyenne b et de covariance W , la probabilité de choix est :

$$P_{ni} = \int \frac{\exp(\beta_n' X_{ni})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta_n' X_{nj})} \Phi(\beta | b, W) d\beta, \text{ avec :} \quad (8.9)$$

Φ , densité de la loi normale multivariée.

Ces probabilités ne peuvent pas être résolues analytiquement mais peuvent être approchées par simulation (Train [2003], p 148)²⁰⁷.

Modèle logit à coefficients distribués avec termes d'interaction

Un avantage notable de la modélisation par coefficients aléatoires est d'être miscible avec les autres méthodes de prise en compte de l'hétérogénéité. Ainsi les modèles logit à coefficients aléatoires peuvent intégrer des termes d'interaction.

C'est notamment ce que suggère l'écriture proposée par Greene et Hensher [2003a] :

$$\beta_q = \beta + \Delta z_q + \Gamma v_q, \text{ avec (notations des auteurs) :} \quad (8.10)$$

β_q	Valeur du coefficient pour l'individu q ,
β	valeur moyenne du coefficient au sein de la population,
Δ	matrice de coefficients,
z_q	valeur des caractéristiques de l'individu,
Γ	matrice triangulaire inférieure,
v_q	vecteur de variables aléatoires.

De manière intuitive, la valeur du coefficient β_q propre à chaque individu cumule deux effets. D'une part, la matrice Δ permet de prendre en compte l'effet des caractéristiques individuelles sur la valeur individuelle du coefficient tandis que la matrice Γ permet de prendre en compte la corrélation entre la composante stochastique des coefficients correspondant à différents attributs. On voit ainsi de quelle manière les modèles RPL dotés de ce type de spécification sont susceptibles de rendre compte de formes de substitution ("substitution patterns") plus élaborées que celles à l'œuvre dans le MNL.

²⁰⁷ Une fois choisie la forme fonctionnelle, on procède pour chaque valeur du vecteur θ : (1) à un tirage de β selon la loi de densité $f(\beta | \theta)$, on note ce tirage β^r où l'exposant $r=1$ se réfère au premier tirage ; (2) on calcule la probabilité obtenue par la formule logit sur la base de ce tirage ; (3) on répète les étapes 1 et 2 de nombreuses fois et on fait la moyenne des résultats. Cette moyenne fournit la probabilité simulée :

$$\hat{P} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R L_{ni}(\beta^r)$$

où R est le nombre de tirages. Les probabilités simulées sont insérées dans la fonction de log-vraisemblance pour fournir une log-vraisemblance simulée

$$SLL = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J d_{nj} \ln \hat{P}_{nj}$$

où $d_{nj} = 1$ si l'individu n choisit j et 0 dans les autres cas. L'estimation retenue est la valeur de θ qui maximise SLL.

²⁰⁸ Hess et alii [2005] montrent cependant que dans le cas des voyageurs, une valeur du temps négative ne peut pas être microfondée dans le cadre du modèle sépien.

Pour devenir opératoire le modèle RPL nécessite une hypothèse a priori de distribution des coefficients. Ce point nécessite d'être présenté plus en détail.

2.2 Quelle loi de distribution ?

La sélection d'une loi de distribution repose à la fois sur les propriétés statistiques des différentes distributions disponibles et sur des éléments économiques.

Eléments de sélection d'une loi de distribution

On examine les lois les plus courantes : normale, log-normale, uniforme, triangulaire, puis on présente des lois plus spécifiques : lois de Raleygh, loi de Johnson.

Loi normale

La loi normale est la première qui peut être citée. Son attrait se base notamment sur le théorème central limite. De manière littérale, le théorème central limite montre que la loi normale est adaptée pour rendre compte de l'effet cumulé d'un grand nombre de phénomènes indépendants, d'amplitude comparable et qui ont une influence additive. La principale difficulté est que la loi normale n'est pas bornée ce qui implique qu'un nombre parfois important d'individus auront un coefficient de signe contraire à la majorité de l'effectif. Par exemple, des individus auront un coefficient d'utilité du temps positif, et donc, pour un coefficient négatif de l'attribut coût, une valeur du temps négative. Certes l'existence de consentements à payer négatifs pour un gain de temps (ou positifs pour une perte de temps) n'est pas impossible²⁰⁸. Toutefois de telles valorisations devront faire l'objet d'un examen de l'analyste si leur probabilité paraît dépasser un seuil jugé raisonnable pour la problématique analysée.

Loi log-normale

De même que la loi normale est adaptée pour rendre compte de l'influence de différents phénomènes additifs, la loi log-normale est pertinente pour représenter l'influence de différents phénomènes indépendants, d'amplitude comparable et *multiplicatifs*²⁰⁹. La loi log-normale n'étant définie que dans \mathbb{R}^+ un de ses avantages, souligné par Hensher et Green [2003, p. 127], est qu'elle permet de contraindre le signe des coefficients. Lorsque le coefficient d'un attribut se voit doté dans le modèle MNL d'un signe négatif, a priori incompatible avec une distribution log-normale, il est facile de contourner la difficulté en inversant le signe²¹⁰ du coefficient en multipliant l'attribut par (-1). Une des limites de la loi log-normale est l'existence d'effectifs importants pour des valeurs élevées de la variable, qui aboutit parfois à des estimations de la variance de la distribution jugées non réalistes (Hess et alii [2005]).

Loi uniforme

La loi uniforme correspond à une densité de probabilité constante sur un intervalle. Elle est difficilement justifiée pour les coefficients attribués à des variables qualitatives, car elle suppose qu'aux extrémités de l'intervalle de définition, la densité s'annule "brutalement". Toutefois elle est recommandée par certains auteurs (Hensher et Greene [2004]) pour les variables binaires.

²⁰⁹ Cela résulte simplement de la définition de la loi log normale : si X suit une loi log-normale, $\log(X)$ suit une loi normale.

²¹⁰ Ainsi la durée a un coefficient d'utilité négatif, mais moins la durée a un coefficient de signe positif.

Loi triangulaire

La loi triangulaire est bornée des deux côtés de la distribution. On peut donc affecter des probabilités nulles à certaines valeurs des paramètres. Son inconvénient réside dans son aspect fortement stylisé : elle impose notamment des points anguleux au centre de la distribution ainsi qu'à ses extrémités. Plus que les autres elle est donc une représentation stylisée du phénomène stochastique sous-jacent. Elle se compare souvent à la loi normale, par rapport à laquelle elle offre l'avantage d'annuler la densité pour des valeurs extrêmes.

D'autres lois sont proposées dans la littérature telles que la loi de Raleygh ou plus récemment la loi de Johnson (Train et Sonnier [2004]) qui présente une grande flexibilité²¹¹. Toutefois les logiciels d'estimation couramment disponibles ne permettent pas toujours de mettre en œuvre toutes ces distributions²¹².

La présentation de ces différents outils statistiques suggère, tout d'abord, une partition entre, d'une part, les lois continues, qui ont l'inconvénient de retourner des probabilités non nulles pour des valeurs extrêmes et, d'autre part, les lois bornées qui sont alors critiquables au motif que "*natura non fecit saltum*"²¹³. Ensuite, il apparaît difficile de trouver dans les formulations du consentement à payer proposées en (8.1) et en (8.3) un critère définitif de choix. Certes, le consentement à payer des producteurs de biens spécifiques (8.1) résulte de l'addition de deux phénomènes (l'un représenté par $-r_i$ et l'autre par c_i). En outre, le second de ces phénomènes, les coûts d'immobilisations, résulte lui aussi de l'addition de plusieurs effets : coûts financiers d'immobilisation, coût des dommages et pertes proportionnelles au temps de transport, modifications des caractéristiques physiques des produits, réorganisation de la logistique des entreprises lorsque les durées de transport diminuent. Toutefois ces différents effets, sont certes additifs mais ils ne sont ni en grand nombre ni indépendants, ainsi que le requerrait l'application stricte du théorème central limite. Peut-on alors se baser sur d'autres éléments pour choisir entre ces différentes lois ?

Éléments pour la sélection d'une loi de distribution

Il a été proposé (Kawamura [1999]) de se baser sur certaines propriétés de la distribution des revenus des ménages pour sélectionner une distribution des valeurs du temps pour les *transporteurs*. Nous montrons tout d'abord pourquoi cette approche ne nous semble pas devoir être retenue, avant de proposer une méthode de rétopolation pour sélectionner cette distribution.

Peut-on transférer des résultats obtenus dans le domaine des voyageurs ?

En transport de voyageurs, la distribution du coefficient associé à l'attribut coût a un fondement à la fois microéconomique et empirique. Ce coefficient correspond, au signe près, à l'utilité marginale de la monnaie, or celle-ci varie de manière inversement proportionnelle au revenu. Or la distribution du revenu au sein de la population peut être en générale correctement décrite par une loi log-normale. Il s'ensuit que pour l'utilisation de modèles à valeurs du temps distribuées, le coût pourrait intervenir dans la fonction d'utilité sous la forme :

²¹¹ La loi S_B de Johnson peut s'écrire comme une transformation de la loi normale. Un tirage suivant une telle loi peut s'écrire $c = a + (b - a) \cdot \frac{e^\xi}{e^\xi + 1}$, où ξ , suit une loi normale de paramètres (μ, σ) . Cette loi offre tout d'abord l'avantage d'être bornée entre a et b et de pouvoir approcher un grand nombre de distributions courantes : normale, log-normale et beta. Un autre avantage est qu'elle peut présenter plusieurs modes.

²¹² Ainsi, le logiciel Limdep que l'on mettra en œuvre permet d'utiliser les lois Uniforme, Normale, Log-normale, et Triangulaire.

²¹³ La nature ne présente pas de discontinuité.

$\beta_c \cdot (-c)$,

où $1/\beta_c$ suit une distribution log normale²¹⁴. Dès lors, on aurait un fondement théorique et empirique pour sélectionner la loi de distribution de la valeur du temps²¹⁵.

Toutefois ce raisonnement ne peut pas se transposer tel quel à l'étude du transport de marchandises. On est alors amené à rechercher d'autres éléments pour étayer le choix d'une distribution.

Une proposition de rétropolation en fonction des préférences des transporteurs

Nous avons proposé (Massiani, Danielis et Marcucci [2004]) d'utiliser la distribution des préférences des *transporteurs* pour rétropoler les préférences des *chargeurs*.

La formulation la plus simple de cette procédure peut être exposée dans la situation que nous avons décrite sous le nom de "tractionnaire", c'est-à-dire pour un transporteur qui ne connaît pas d'effets croisés entre les durées de déplacement les durées hors déplacement et leurs coûts respectifs (cf. p. 208). Nous présentons cette approche avant d'examiner de quelle manière elle peut être généralisée à des situations, plus courantes, où les transporteurs peuvent également bénéficier d'effets croisés.

Le consentement à payer d'un *tractionnaire* pour une modification *marginale* de la durée de *déplacement* peut s'écrire comme la somme des modifications des coûts de transport et des modifications de revenus (paiements reçus par les chargeurs), ce qui correspond à l'équation (6.18) du chapitre 6 :

$$\text{cap}_{\text{trac}} = -cd'_d(d_{\min}) + rt'_d(d_{\min}+i^*) \quad (6.18)$$

Puisque, en outre, les revenus additionnels d'une modification marginale des durées de transport (qu'il s'agisse des durées de déplacement ou des durées hors déplacement) s'égalisent avec le consentement à payer des chargeurs pour une telle modification, on peut utiliser la notation : $rt'_d(d_{\min}+i^*) = \text{cap}_e$. Il vient :

$$\text{cap}_{\text{trac}} = -cd'_d + \text{cap}_e, \text{ avec} \quad (8.11)$$

A court terme, c'est-à-dire en l'absence de modification du niveau des prix, le consentement à payer des *transporteurs* pour une diminution de la durée de *déplacement*, reflète le consentement à payer des *chargeurs* pour une diminution de la durée de *transport*, plus les modifications (dans notre cas réduction) des coûts de production.

Dès lors, on peut isoler le terme cap_e dans l'équation (8.11) et écrire :

$$\text{cap}_e = \text{cap}_{\text{trac}} - cd'_d \quad (8.12)$$

Il devient alors possible d'utiliser certains résultats empiriques réunis par exemple par Wynter [1995], Kawamaru [1999] et Kawamaru [2000] qui nous renseignent sur la distribution du terme consentement à payer parmi les transporteurs. Ces résultats établissent une distribution log-normale du consentement à payer des transporteurs pour un gain de temps.

²¹⁴ L'adjonction du signe négatif permettant de s'assurer que le coefficient β est de signe positif ainsi que l'exige la distribution log-normale.

²¹⁵ Si $\delta u/\delta t$ est fixe le ratio $\frac{\delta u/\delta t}{\delta u/\delta c}$ suit alors une loi log-normale. La difficulté est cependant plus importante si on considère une distribution $\delta u/\delta t$.

²¹⁶ Le consentement à payer des chargeurs pour une diminution *marginale* des durées de *déplacement* est identique à celui pour une diminution *marginale* des durées de *transport*.

Ainsi, si l'on représente la fonction de coût des transporteurs de manière simplifiée en se basant sur la typologie du *tractionnaire* (absence d'effets croisés entre les durées de déplacement, les durées hors déplacement et leurs coûts respectifs) la distribution des consentements à payer des chargeurs résulte de l'addition de deux variables stochastiques. La première suit une loi log-normale. La seconde dépend de la distribution des termes cd'_d au sein de la population des chargeurs. Cette dernière distribution résulte de deux influences : d'une part, les propriétés de la dérivée d'ordre 1 de la fonction $cd(d)$; d'autre part, le point de cette courbe auquel se situent les transporteurs dans leurs différentes situations de choix. Si l'on considère que la distribution du terme cd'_d , résultant de ces deux effets, est leptocurtique au sein de la population interrogée, on pourra alors faire l'approximation d'un terme cd'_d fixe. On pourra alors en inférer que cap_e suit une distribution log-normale²¹⁷, et on se trompera alors seulement dans la mesure où l'hypothèse formulée sur la distribution de $cd(d)$ est restrictive.

Qu'advient-il si l'on se place dans la situation plus complexe, mais plus réaliste que nous avons désignée comme celle des opérateurs logistiques ? L'Encadré 14 expose de quelle manière l'écriture de cette rétopolation devient alors un peu plus compliquée.

Encadré 14 : rétopolation de la valeur du temps des chargeurs en fonction de celle des transporteurs, cas de l'opérateur logistique²¹⁸

Le consentement à payer des transporteurs pour une diminution *marginale* des durées de déplacement est fourni par l'équation (6.20)

$$cap_t = \delta ct / \delta d + cap_e \quad (8.13)$$

Le premier terme à droite du signe égal se décompose en : $\delta cd / \delta d + \delta chd / \delta d$.

Soit :

$$cap_t = \delta cd / \delta d + \delta chd / \delta d + cap_e. \text{ Soit encore :} \quad (8.14)$$

$$cap_e = cap_t - \delta cd / \delta d - \delta chd / \delta d. \quad (8.15)$$

Les enquêtes effectuées auprès des transporteurs nous renseignent sur la distribution log-normale du terme cap_t , la répartition du consentement à payer des transporteurs devient dans cette formule plus difficile à inférer de la répartition des consentements à payer des transporteurs parce qu'un "bruit" supplémentaire est présent par rapport à la situation simplifiée du transporteur.

La technique de rétopolation fournit un moyen d'inférer la distribution des valeurs du temps des *chargeurs* en fonction de celles dont on dispose sur les *transporteurs*. Sa validité reste toutefois soumise à l'importance du bruit qui perturbe cette relation. Notamment, lorsque les transporteurs correspondent à la typologie "opérateurs logistiques", les effets de la durée de déplacement sur le coût des opérations hors déplacement, tels que formalisés par l'équation (8.15), peuvent rendre plus complexe la relation entre la distribution du consentement à payer des transporteurs et celle des consentements à payer des chargeurs.

Au final, il apparaît que l'on ne rencontre pas dans notre analyse un critère définitif de choix en faveur d'une distribution. Un élément supplémentaire sur lequel insistent Hensher et Greene [2003] est que chacune de ces lois doit être considérée comme une stylisation de la réalité.

Quel que soit le choix effectué, une étape ultérieure est d'utiliser les distributions des coefficients de coût et de durée, pour calculer une distribution des valeurs du temps (ratio entre l'utilité marginale de la durée et l'utilité marginale du coût). La difficulté est qu'il est parfois impossible de déterminer les

²¹⁷ Plus précisément $cap_e - cd(d)$ suit une loi log normale.

²¹⁸ Ce traitement néglige les effets d'ordre deux et supérieur.

paramètres de la distribution du ratio de deux lois de distributions quelconques²¹⁹. Une solution existe toutefois par le recours à la formule de Bayes qui permet une estimation des valeurs du temps individuelles.

Estimations individuelles a posteriori

L'estimation par la formule de Bayes fournit une estimation des coefficients de coût et de durée pour chaque individu. On peut alors calculer, individu par individu, une valeur du temps, puisqu'on peut déterminer à quel point de la fonction de densité se situe chaque individu. La loi de distribution des coefficients constitue l'a priori bayésien, le choix effectué représente l'information supplémentaire à partir de laquelle on peut calculer, pour tout attribut, le coefficient spécifique à un individu ou à un groupe d'individus²²⁰.

Il est ainsi possible en combinant l'estimation des paramètres de la fonction d'utilité sous-jacente et l'observation des choix individuels de connaître la densité de probabilité des coefficients pour chaque individu (ou plus précisément, pour l'ensemble des individus qui, confrontés à un univers de choix donné, sélectionnent les mêmes alternatives).

Nous présenterons cette démarche plus précisément dans une application empirique. Dans celle-ci nous confrontons le mode de représentation de l'hétérogénéité que nous avons décrit aux données issues d'une enquête auprès des chargeurs.

3 Mesurer l'hétérogénéité : une application sur une enquête auprès des chargeurs

Pour réaliser les différents traitements de données que nous avons proposés, nous avons sélectionné une enquête de Préférences Déclarées réalisée auprès des chargeurs en Italie. Cette base de données a été choisie pour les raisons suivantes :

- Une méthode d'enquête qui correspond à l'état de l'art (choix discrets contextuels).
- Des interviews réalisées en face-à-face ce qui offre une fiabilité de données supérieure à d'autres méthodes.
- Un nombre suffisant d'entreprises enquêtées : les résultats sont utilisables pour 97 entreprises, 15 exercices trinomiaux de choix discrets ont été proposés pour chaque entreprise.
- Un faible taux de réponses manquantes, notamment en ce qui concerne les attributs "durée" et "coût".

3.1 Présentation des données

Les données ont été collectées au cours d'une enquête de Préférences Déclarées réalisée dans les régions italiennes du Frioul - Vénétie Julienne, des Marches et du Latium. Les entreprises enquêtées font partie de cinq secteurs (équipements mécaniques, produits métallurgiques, ameublement, produits

²¹⁹ Cette difficulté n'est pas absolue. Par exemple le quotient X_1/X_2 de deux variables suivant une loi log normales distribuées (μ_1, σ_1) et (μ_2, σ_2) suit également une distribution log-normale, de paramètres $(\mu_1 - \mu_2, \sigma_1^2 - 2\sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2)$.

²²⁰ Ainsi que le précise Hensher [2005] le vecteur de coefficient sera identique pour tous les individus qui ont fourni les mêmes réponses au questionnaire. L'estimation n'est pas "individual specific" (propres aux individus) mais "choice specific" (propre au groupe des individus faisant le même choix).

chimiques, électronique). Par ailleurs elles ont été sélectionnées en considérant qu'elles pourraient pour leurs envois avoir recours au transport intermodal²²¹.

Les entreprises ont été contactées tout d'abord par téléphone pour présenter l'étude, pour identifier les caractéristiques logistiques de l'entreprise et proposer une interview. Dans une deuxième étape, si l'entreprise répondait que le transport intermodal était une possibilité pour le transport de ses inputs ou de ses outputs, une interview en face à face a été réalisée.

Description des entreprises enquêtées

L'échantillon des entreprises interviewées consistait finalement en 99 entreprises avec les caractéristiques suivantes :

- *Localisation géographique* : 30 entreprises localisées en Frioul - Vénétie Julienne (Nord-Est de l'Italie), 50 dans les Marches, 8 dans le Latium (Italie centrale).
- *Secteurs industriels* : 30 entreprises produisent des équipements mécaniques, 24 des produits métallurgiques, 30 de l'ameublement, 9 des produits chimiques et 6 entreprises appartiennent au secteur de l'électronique. Une caractéristique importante de la structure industrielle italienne est la présence de districts industriels constitués d'un réseau de PME dotées d'une forte spécialisation dans un secteur. Au sein de l'échantillon interrogé, les firmes produisant des meubles dans les régions des Marches correspondent à cette typologie industrielle.
- *Transport* : toutes les entreprises utilisent les services de transporteurs pour compte d'autrui. Seules 23 % des entreprises ont utilisé au moins une fois dans l'année un transport intermodal, 7 % l'ont utilisé dans le passé et 68% ne l'ont jamais utilisé.
- *Organisation logistique* : concernant les modes de gestion des stocks plus de 50 % des entreprises de l'échantillon gèrent leurs stocks sur la base des commandes reçues, 8% gèrent leurs stocks en fonction de stocks prédéfinis, 15 % gèrent leurs stocks sur la base de prévisions de vente, 14 % en fonction des plans de production et 10 % déclarent suivre une gestion de stock selon les principes du Juste à Temps.

L'interview en face à face était constituée de quatre composantes : (1) la définition d'un envoi typique (poids, volume, valeur, coût de transport, origine et destination, mode, durée, retard moyen, le risque de dommage ou de perte, la fréquence des envois et la flexibilité) et des conditions dans lesquelles cet envoi pourrait être réalisé par transport combiné²²², (2) la spécification de seuils d'acceptabilité pour les différents attributs, (3) l'exercice de Préférences Déclarées, (4) une interview détaillée concernant l'organisation productive et logistique de la firme.

Description de l'exercice de choix discret

Dans l'exercice de Préférences Déclarées, il était proposé de choisir entre trois alternatives. Le Tableau 48 ci-dessous fournit un exemple des choix proposés aux personnes interviewées.

²²¹ Une description plus complète de ces données et une analyse des données basées sur l'utilisation de "cut-off", ou de seuils d'acceptabilité, est présentée dans Danielis et alii [à paraître]

²²² Sur ce point, Danielis et alii [à paraître] notent "*the respondents (...) had great difficulty specifying the characteristics of the alternative shipment performed with a different mode (usually, intermodal transport), because they claimed to have little or no knowledge on non-used modes.*"

Tableau 48 : exemple de choix proposés aux chargeurs interviewés

Alternative A	Alternative B	Alternative C
intermodale	routier	mode actuel
Coût: supérieur de 5%	Coût: supérieur de 10%	Coût: comme dans la situation courante
Durée: supérieure d'un jour	Durée: inférieure d'un jour	Durée: comme dans la situation courante
85% des envois à l'heure	85% des envois à l'heure	% des envois à l'heure: comme dans la situation courante
Probabilité de dommages et de pertes : 10%.	Probabilité de dommages et de pertes : 20%	Probabilité de dommages et de pertes : comme dans la situation courante
Fréquence: faible	Fréquence: élevée	Fréquence: comme dans la situation courante
Flexibilité: élevée	Flexibilité: élevée	Flexibilité: comme dans la situation courante

Deux des alternatives étaient générées conformément à un plan d'expérience orthogonal, la troisième correspondant à l'envoi typique décrit par le répondant. On désignera cette alternative sous le nom de status quo. L'inclusion de ce status quo renforce le réalisme des alternatives proposées.

Les valeurs des attributs utilisées lors de l'enquête sont synthétisées dans le Tableau 49 ci-dessous.

Tableau 49 : niveau des attributs présentés aux personnes interviewées

Attribut :	Niveaux :
Coûts :	15%, -10%, -5%, coût actuel, +5%, +10%, +15%
Durée porte-à-porte :	-1/2 journée, durée actuelle, +1/2 journée, +1 journée, +2 journées
Ponctualité (pourcentage des envois arrivant avec un retard inférieur à une heure ou à une demi-journée ²²³) :	100%, 85%, 70%
Pertes ou dommages (pourcentages des envois avec pertes de ou dommage aux marchandises) :	0%, 5%, 10%, 20%
Flexibilité :	Haute, basse
Fréquence :	Haute, basse
Mode :	Routier, Intermodale

Quelques données descriptives

Le Tableau 50 ci-dessous fournit les principales caractéristiques des entreprises interviewées et de leurs envois. Il souligne notamment la grande variabilité de la plupart de ces données, dont le coefficient de variation est supérieur à un²²⁴. Cela est particulièrement vrai pour la valeur du bien envoyé.

²²³ Deux définitions de la ponctualité ont été utilisées durant l'enquête.

²²⁴ Cela correspond à une situation où l'écart type de la variable est supérieur à sa moyenne.

Tableau 50 : caractéristiques principales des entreprises interviewées et de leurs envois

	Moyenne	Ecart Type
Dimension (nb. d'employés)	133	283
Valeur du bien (euro)	54.380	145.559
Coût de transport de l'envoi (euro).	1.055	1.888
Distance d'envois (km)	817	550
Durée d'envoi (jours)	2,8	3,5
	%	
% des envois produits à la commande	51%	
% des envois sortant	86%	

Ces données se prêtent aux différents traitements que nous avons identifiés.

Dans un premier temps, nous menons une analyse exploratoire basée sur la segmentation des données. En estimant un modèle MNL pour différents ensembles de données on peut examiner de quelle manière les coefficients de la fonction d'utilité varient d'un segment à l'autre de la population. On utilise également les résultats de cette segmentation, pour construire une fonction d'utilité avec termes d'interactions.

Dans un deuxième temps, on estime un modèle Logit à coefficients stochastiques (en anglais : RPL), afin d'examiner de quelle manière l'introduction de coefficients aléatoires permet d'améliorer la compréhension de l'hétérogénéité présente dans nos données.

3.2 Analyse exploratoire : segmentation et effet des termes d'interaction

On estime tout d'abord un modèle sur l'ensemble de la population, puis on examine quelle est la pertinence de segmentations définies sur certaines caractéristiques de l'entreprise.

Modèle estimé sur l'ensemble de la population

Le modèle que l'on estime s'écrit :

$$U = \beta_d \cdot \text{dur} + \beta_c \cdot \text{coût} + \beta_p \cdot \text{ponct} + \beta_f \cdot \text{fréq} + \beta_n \cdot \text{fless} + \beta_a \cdot \text{asc_sq} + \beta_m \cdot \text{mode} + \beta \cdot \text{domm} + \varepsilon, \text{ avec : (8.16)}$$

dur,	durée (jours),
coût,	coût de transport (variation % par rapport au coût courant),
ponct,	ponctualité (pourcentage des envois qui arrivent avec moins d'une demie journée de retard),
asc_sq,	constante spécifique à l'alternative courante,
mode,	0, pour la route, 1 pour l'intermodal,
domm,	dégâts ou pertes, exprimés en pourcentage des envois qui subissent des dégâts,
fréq,	fréquence haute (fréq=0) ou basse (fréq=1),
flex,	flexibilité haute (flex=0) ou basse (flex=1),
ε	terme stochastique.

Le Tableau 51 nous donne les résultats de l'estimation de l'équation (8.16) par un modèle MNL. Cette estimation ne prend pas en compte explicitement la différence de préférences entre entreprises (ces différences ne sont prises en compte que dans le terme ε).

Tableau 51 : estimation du modèle sur l'ensemble de la population

		Echantillon
		complet
		97 OBS
ASC (status quo)		1,04 (10,2)
Coût	% coût	-10,8150 (-15,9)
Mode	(routier, interm	0,58 (3,9)
Durée	jours	-0,39 (-5,6)
Ponctualité	% (envois à l'heure + 1h)	0,52 (3,3)
Dommmages	% des envois avec pertes	-14,6 (-14,5)
Fréquence	(haute, basse	
Flexibilité	(haute, basse	-0,38 (-2,4)
Log Vraisemblance		-913,8
Nombre d'observations		1455

On note que l'ensemble des coefficients est significatif à un niveau très élevé (1,1 % de probabilité critique au maximum) à l'exception de la variable fréquence. Nous maintenons cet attribut dans notre estimation afin de permettre une comparaison avec des résultats ultérieurs.

En second lieu, on observe que l'attribut "dommmages" a un coefficient très élevé en comparaison des autres attributs. Cette comparaison ne peut être réalisée de manière stricte qu'avec les coefficients exprimés dans la même métrique (c'est-à-dire en points de pourcentages) : le coût et la ponctualité. Ce coefficient élevé invite à un examen plus approfondi de l'attribut "dommmages" dans les données collectées. Cet examen amène à conclure que l'intervalle de valeurs proposées pour l'attribut "dommmage" était trop large par rapport aux valeurs auxquelles les entreprises peuvent faire face dans les conditions courantes. Cet élément crée une difficulté dans l'interprétation du modèle, car il peut avoir un effet sur l'estimation des résultats. En effet les préférences qui apparaissent dans ces données ne peuvent plus être distinguées de celles qui résulteraient d'un **comportement lexicographique**²²⁵. Soit les préférences sont effectivement lexicographiques, alors on ne peut utiliser un paradigme RUM basé sur une fonction d'utilité compensatoire. Soit les préférences ne sont pas lexicographiques mais dans ce cas, les niveaux de l'attribut "dommmage" déséquilibrent le plan d'expérience puisque même les niveaux les moins défavorables de l'attribut (5% par exemple) sont tellement pénalisant qu'ils ne peuvent pas être compensés par les combinaisons des autres attributs.

La valeur du temps générée par ce modèle doit donc être interprétée sous cette réserve. Cette valeur s'élève à 1,6 euro par heure et par envoi, un chiffre très fortement inférieur aux résultats généralement obtenus pour ce type d'étude. De quelle manière ce résultat est-il modifié lorsque l'on prend en compte une segmentation des données ?

²²⁵ Des préférences sont lexicographiques lorsqu'elles se basent sur un unique attribut, dit dominant, et ne prennent en compte les autres attributs que si l'attribut dominant est de même valeur dans les différentes alternatives. Amaya [2002] propose un test informel pour révéler l'existence de préférences lexicographiques : un attribut est dominant si le coefficient β associé à l'attribut dominant est supérieur à la somme des coefficients des autres attributs. Sur la base de ce test l'attribut "dommmage" apparaît dominant.

Un autre indicateur de lexicographie est la fréquence des différents attributs au sein des alternatives choisies. On remarque que les modalités 0% et 5% de probabilité de dommmage, représentent 80% et 15 % des profils choisis, ce qui tend à montrer la dominance de cet attribut dans les choix.

Analyse basée sur une segmentation des données

On présente tout d'abord les différents modèles estimés, avant de formuler des observations sur la base des résultats numériques obtenus.

Modèles estimés

Nous avons estimé le modèle pour différents segments de données. Le Tableau 52 indique de quelle manière l'effet des différents attributs est modifié lorsque l'on segmente les données selon :

- la dimension de l'entreprise.
- la valeur du bien,
- la gestion de la production (à la commande, par gestion de stock),
- la directionnalité du flux (entrants ou sortants).

Le Tableau 53 présente quant à lui les différentes estimations obtenues pour les différents secteurs.

Dans ces tableaux, chaque colonne correspond à un ensemble de données : soit l'échantillon complet soit l'échantillon partagé en deux²²⁶. Les différentes lignes indiquent la valeur du coefficient attaché aux différents attributs, ainsi que, entre parenthèses, le T de Student associé à chacun des coefficients. Seuls les coefficients dont la probabilité critique est inférieure à 5 % sont présentés. En outre, la ligne intitulée "LL ratio test proba" fournit le résultat d'un test sur l'égalité des coefficients entre les différents segments de population²²⁷. On constate que l'hypothèse d'égalité des coefficients peut être rejetée avec un risque fortement inférieur à 1 % pour les segmentations basées sur la dimension de l'entreprise, la valeur du bien, le secteur et la gestion de la production. Par contre, on ne peut pas rejeter, au taux de 5 %, l'hypothèse d'égalité des coefficients entre les flux entrant et les flux sortant.

Tableau 52 : estimation par segment de données

	Echantillon complet	Dimension		Valeur du bien		Gestion de la production		Directionnalité		
		Nb de salariés		euros		A la commande	Gestion de Stock	Sortant	Entrant	
		<67	>67	<21445	>21445					
ASC (status quo)	1,04 (10,2)	0,65 (4,2)	1,37 (9,5)	0,78 (5,1)	1,23 (8,9)	0,96 (6,7)	1,07 (7,4)	1,03 (9,6)	1,14 (3,7)	
Coût	% coût	-10,8150 (-15,9)	-11,7882 (-11,6)	-11,2435 (-11,3)	-11,5454 (-11,6)	-10,3696 (-10,9)	-10,3377 (-10,5)	-11,4165 (-12,0)	-10,3205 (-14,4)	-15,0628 (-6,8)
Mode	(0= route 1= intermoda)	0,58 (3,9)	0,69 (3,0)	0,42 (2,0)	0,76 (3,4)	0,43 (2,1)	0,52 (2,3)	0,63 (3,2)	0,66 (4,1)	
Durée	jours	-0,39 (-5,6)	-0,29 (-2,8)	-0,50 (-5,0)	-0,32 (-3,1)	-0,46 (-4,7)	-0,49 (-4,6)	-0,29 (-3,1)	-0,41 (-5,5)	
Ponctualité	% (envois à l'heure +_1h)	0,52 (3,3)	1,12 (4,9)	1,12 (4,9)	0,93 (4,0)	0,93 (4,0)	0,86 (3,6)	0,53 (3,2)	0,53 (3,2)	
Dommages.	% des envois avec pertes	-14,6 (-14,5)	-25,3 (-12,5)	-8,5 (-7,1)	-20,8 (-11,7)	-10,7 (-8,5)	-20,0 (-11,3)	-11,2 (-9,0)	-14,8 (-13,6)	-15,0 (-5,2)
Fréquence	(0 = haute 1= basse)									
Flexibilité	(0=haute 1= basse)	-0,38 (-2,4)						-0,44 (-2,6)		
Log Vraisemblance	-913,8	-407,4	-461,9	-427,0	-467,3	-422,9	-475,5	-790,7	-118,4	
Nombre d'observations	1455	720	735	720	735	750	705	1260	195	
LL ratio test proba.		7,84429E-16		5,13469E-06		0,000		0,312		

²²⁶ Pour les variables continues, les données sont partagées en deux ensembles, en fonction de la médiane de chacun des attributs, ce qui permet d'obtenir des effectifs comparables pour les deux ensembles de données.

²²⁷ Ce test examine l'hypothèse $H_0 : \beta_i = \beta_j$ où β_i e β_j sont les vecteurs des coefficients estimés sur chaque segment de population. Il est basé sur le calcul de :

$$-2(LL(\beta_c) - \sum_i LL(\beta_i)), \text{ où } \beta_c \text{ est le vecteur de coefficients obtenus sur l'ensemble de la population.}$$

Cette quantité suit une loi de distribution de χ^2 avec un degré de liberté égal à la différence entre le nombre de coefficients estimés dans les modèles segmentés et non segmentés.

Tableau 53 : estimation du modèle pour différents secteurs

		Echantillon complet	Secteur				
			Mécanique	Métallurgique	Ameublement	Chimie	Electronique
ASC (status quo)		1,04 (10,2)		0,88 (3,9)	0,66 (3,0)	1,32 (4,0)	
Coût	% coût	-10,8150 (-15,9)	-18,3528 (-9,6)	-9,0327 (-7,1)	-10,8722 (-8,2)	-14,0118 (-5,3)	-16,3893 (-3,6)
Mode	(0= route) (1 = intermoda)	0,58 (3,9)			0,94 (3,4)		
Durée	jours	-0,39 (-5,6)	-0,87 (-4,9)		-0,33 (-2,5)	-1,10 (-3,7)	
Ponctualité	% (envois à l'heure +_1h)	0,52 (3,3)	0,67 (2,2)		3,95 (4,5)	6,09 (3,8)	
Dommages.	% des envois avec pertes	-14,6 (-14,5)	-53,3 (-10,4)	-15,4 (-7,1)	-15,2 (-7,8)	-3,0 (-4,0)	-39,4 (-3,9)
Fréquence	(0 = haute) (1 = basse)				-0,79 (-2,5)		
Flexibilité	(0=haute) (1= basse)	-0,38 (-2,4)					
Log Vraisemblance		-913,8	-162,7	-239,7	-247,6	-75,7	-33,6
Nombre d'observations		1455	450	360	420	135	90
LL ratio test proba.			8,3591E-260				

Ces différents résultats fournissent donc des indications sur la variabilité des préférences au sein de la population des chargeurs. Un des éléments les plus saillants est la différence de valeur du temps en fonction de la valeur du bien. En outre, on remarque une différence notable de valeur du temps selon le type de gestion de la production.

Interprétation

On peut mettre ces éléments en relation avec certaines des hypothèses que nous avons retenues dans les étapes précédentes du présent travail.

D'une part, dans le chapitre 1, nous avons proposé de ne pas accorder une importance notable au statut (expéditeur ou destinataire) du chargeur par rapport aux envois. Notre argumentation était que le chargeur doit prendre en compte les préférences de son client dans les arbitrages qu'il effectue en matière de transport. Si une marchandise est vendue CAF, le chargeur sera d'autant plus disposé à payer cher pour un transport rapide, que son client aura un consentement à payer élevé pour gagner du temps. Dès lors, la directionnalité du flux apparaît comme un élément essentiellement nominal. Tout flux entrant pour une entreprise est un flux sortant pour une autre. Sur ce point, les résultats du test sur le ratio de log-vraisemblance montrent que la différence entre les modèles pour les flux entrant et sortant n'est pas significative.

D'autre part, ces tableaux fournissent une comparaison entre deux modes de gestion de la production : à la commande ou par gestion des stocks. Ces termes ne s'identifient pas parfaitement à la distinction que nous avons établie entre biens génériques et biens spécifiques, ils fournissent cependant une approximation suffisante pour que l'on puisse examiner de quelle manière les valeurs du temps varient entre ces deux catégories de bien. Le test sur le ratio de log-vraisemblance montre ici aussi que les comportements des entreprises, décrits par les paramètres de leur fonction d'utilité, sont significativement différents en fonction de leur segment d'appartenance.

Il est possible de calculer les valeurs du temps correspondant à chacun de ces segments en utilisant la valeur moyenne de l'attribut coût pour chaque segment. Ces résultats sont fournis dans le Tableau 56.

Tableau 54 : valeur du temps pour différents segments (euro par heure et par envoi)

Echantillon complet	Dimension		Valeur du bien		Gestion de la production	
	Nb de salariés		euros		A la commande	Gestion de Stock
	<67	>67	<21445	>21445		
1,6	1,8	2,1	0,4	3,2	2,0	1,1

Les résultats obtenus en segmentant les données suggèrent que certaines segmentations sont pertinentes pour l'analyse des préférences des chargeurs. Elles ouvrent la voie à des traitements plus approfondis. En premier lieu, on propose l'estimation d'un modèle avec termes d'interaction.

Modèles avec interactions

Les modèles avec termes d'interactions sont estimés en introduisant dans le modèle MNL des attributs supplémentaires qui correspondent à l'effet croisé entre certains attributs et certaines caractéristiques des chargeurs. Par exemple le Tableau 53 indique que la valeur de l'attribut "dommages" est fortement différente entre les entreprises du secteur mécanique et l'ensemble des entreprises. On peut donc introduire une à une des variables qui correspondent aux termes d'interaction. L'ordre d'introduction des variables est déterminé par la différence relative entre coefficients du segment considéré et coefficient obtenu sur l'ensemble de la population²²⁸. Au cours de cette procédure que l'on pourrait qualifier de "pas à pas" on examine la significativité des coefficients, leur signe, ainsi que les indicateurs de qualité d'ajustement du modèle (Log-vraisemblance et ρ^2 ajusté). Le Tableau 55 présente les résultats obtenus.

Tableau 55 : modèle avec termes d'interaction

	Coeff. Fixes		
	Coeff	proba (t)	
Coefficients fixes :			
Durée (j.)	DURA	-0,32	0,0%
Coût (%)	C1	-17,10	0,0%
Ponct			
Fréquence			
Flexibilité	FLES	-0,42	1,6%
Constante Status quod	ASC_SQ	1,04	0,0%
Mode	MODO	0,56	0,0%
Dommages (%)	DANNI	-11,40	0,0%
Termes d'interaction :			
Dommages*Sect 1	DANXSET1	-37,24	0,0%
Ponct*Sect4	PUNXSET4	5,11	0,0%
Dommages*Sect 5	DANXSET5	-20,96	1,4%
Dommages*Sect 4	DANXSET4	8,89	0,0%
Dommages *Dim1	DANXDIM1	-9,99	0,0%
Coût(rel)*Sect1	C1XSET1	-7,03	0,1%
Coût(rel)*Sortants			
Durée*Sect4	DURXSET4	-0,72	1,0%
Ponct*Val2	PUNXVAL2	1,24	0,0%
Coûts*Sect2	C1XSET2	4,60	0,3%
Asc*Dim1	ASCXDIM1	-0,65	0,0%
Ponct*sect3	PUNXSET3	3,20	0,0%
Coût*sortant	C1XUSC	5,18	0,7%
Durée*sect1	DURXSET1	-0,44	1,7%
r^2 ajusté :		0,52	
LogVraisemblance		-756	

²²⁸ Plus précisément on calcule pour chaque coefficient dans chaque segment la quantité $\frac{(\beta_{kci} - \beta_{ku})^2}{\beta_{ku}^2}$, avec :

β_{kci} , coefficient de l'attribut k dans le modèle estimé sur le segment i,

β_{ku} , coefficient de l'attribut k dans le modèle estimé sur l'ensemble de la population.

L'amélioration de la qualité d'ajustement du modèle apparaît en examinant le ρ^2 ajusté (passe de 0,43 à 0,52) et le logarithme de la vraisemblance, qui (pour un nombre inchangé d'observations) passe de -913 à -756.

A la lumière de ces résultats, on remarque qu'une source majeure d'hétérogénéité est apparemment constituée par les secteurs et que les attributs de dommage et de ponctualité ont des effets fortement différents selon les caractéristiques des entreprises et des envois. Par ailleurs, on remarque que l'on peut introduire un nombre important de variables d'interaction, avant que l'ajout de variables complémentaires ne détériore le ρ^2 ajusté. Ces résultats suggèrent que l'introduction de variables d'interaction améliore de manière importante la qualité d'ajustement d'un modèle. Ceci reste vrai même lorsque l'on veille à la parcimonie du modèle.

Ces résultats invitent à se demander de quelle manière d'autres méthodes et notamment l'utilisation d'un logit à coefficients stochastiques est capable de rendre compte correctement de l'hétérogénéité des préférences des chargeurs.

3.3 Estimation du modèle Logit à coefficients stochastiques

On présente les principaux résultats d'estimation de modèles logit à coefficients stochastiques. On s'en tient à un nombre limité de spécifications. Si l'on ne procédait pas de la sorte, on aboutirait, en raison de la diversité des lois de distribution utilisables et du nombre d'attributs présents dans le modèle, à un nombre excessif de modèles²²⁹.

Notre démarche a été d'estimer des coefficients en supposant des distributions : normales, log-normales et triangulaires. La distribution a été introduite soit sur un coefficient unique soit sur $N-1$ coefficients, les variables étant successivement ajoutées ou retirées en se basant sur la probabilité critique associée à la composante stochastique de chaque coefficient²³¹.

L'estimation d'un modèle à coefficients stochastiques s'est, sauf rares cas particuliers, révélée incompatible avec le maintien de la variable "dommages" dans la fonction d'utilité. La raison en réside dans l'intervalle de valeurs de l'attribut "dommages" proposé aux entreprises interviewées (cf. p. 318).

Résultats

Les résultats les plus significatifs de cette estimation sont présentés dans le Tableau 56 ci-dessous. Ce tableau fournit les coefficients et les probabilités critiques qui leur sont associées pour quatre spécifications du modèle. Il fournit également pour chacune d'entre elles des indicateurs de la qualité d'ajustement du modèle (ρ^2 ajusté, logarithme de la vraisemblance) et le nombre d'observations utilisées dans l'estimation. Les deux dernières lignes fournissent des résultats sur la valeur du temps moyenne estimée pour chaque modèle. D'une part, la valeur du temps obtenue pour la valeur moyenne des coefficients, d'autre part, la probabilité d'obtenir un coefficient positif pour l'attribut durées²³².

²²⁹ Plus précisément, pour un modèle à 8 coefficients, chacun de ceux-ci pouvant avoir une distribution fixe, normale, log-normale, triangulaire ou uniforme on parvient à 390 624 spécifications ($(8^5 - 1)$, un de ces modèles étant le MNL avec tous les coefficients fixes).

²³⁰ La distribution normale des termes de perturbations est ainsi considérée comme une des quatre hypothèses fondamentales des régressions par Moindres Carrés Ordinaires.

²³¹ De même qu'un modèle logit fournit l'estimation d'un t de student pour chaque coefficient, un modèle logit à coefficients stochastiques fournit l'estimation d'un t de student pour la dispersion de chacun des coefficients.

²³² Si β_d suit une loi normale de paramètres (μ, σ) , la probabilité pour que ce coefficient ait une valeur négative s'exprime comme $[1 - \Phi(-\mu/\sigma)]$, où Φ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite. On note

Tableau 56 : résultats des estimations RPL

	Modèles										
	1		2			3			4		
	Coeff. Fixes		NN			NN avec interactions			Triangulaire (t,*) (mode normal)		
	Coeff	proba (t)	Dist	Coeff	proba (t)	Dist	Coeff	proba (t)	Dist	Coeff	proba (t)
Coefficients fixes :											
Durée	-0,39	0,0%		-0,42	0,0%		-0,58	0,0%		1,12	0,0%
Coût (rel)	-10,93	0,0%		-11,84	0,0%		-24,56	0,0%		19,74	0,0%
Ponct (1/2 journée)	2,65	0,0%		2,99	0,0%		3,02	0,0%		8,86	0,0%
Fréquence	-0,17	29,1%		-0,34	3,5%		0,00	0,0%		0,76	1,1%
Flexibilité	-0,41	1,1%		0,00	0,0%		-0,55	0,8%		1,22	0,0%
Constante Status quo	0,57	0,0%		1,41	0,0%		0,78	0,0%		-0,09	59,6%
Mode	0,56	0,0%		0,43	0,1%		0,65	0,0%		1,34	0,0%
Dommages	-14,80	0,0%					-15,40	0,0%		54,90	0,0%
Composante stochastique du coefficient (écart type de la distribution des paramètres) :											
Durée			N	0,75	0,0%	N	1,07	0,0%	T	2,25	0,0%
Coût (rel)			N	6,59	0,0%	N	9,61	0,0%	T	39,49	0,0%
Ponct (1/2 journée)									T	17,71	0,0%
Fréquence									T	1,51	1,1%
Flexibilité									T	2,44	0,0%
Constante Status quo											
Mode									N	0,85	1,2%
Dommages									T	109,80	0,0%
Termes d'interaction :											
Dommages*Sect 1							-43,97	0,0%			
Ponct*Sect4							6,08	0,2%			
Dommages*Sect 5							-18,60	6,2%			
Dommages*Sect 4							12,10	0,0%			
Dommages *Dimension1							-8,09	0,4%			
Coût(rel)*Sect1							-8,65	1,0%			
Coût(rel)*Sortants							9,46	0,9%			
Durée*Sect4							-0,82	10,1%			
Ponct*Val2							1,37	0,2%			
Coûts*Sect2							5,70	5,6%			
Asc*Dim1							-0,49	1,2%			
rho ² ajusté :	0,43		0,35			0,55			0,59		
LogVraisemblance :	-891		-1018			-694			-646		
Nombre d'observations (nb. choix) :	1425		1425			1425			1425		
Nombre d'interviews :	95		95			95			95		
p(βd) >0 :	0%		29%			28%			0%		
vdt moyenne (% coût/jour)	3,6%		3,5%			2,4%			5,7%		

Le premier modèle présenté (**modèle 1**) est un **modèle à coefficients fixes**, qui sert de terme de comparaison pour les autres modèles.

En second lieu, on fournit les résultats de trois modèles à coefficients stochastiques. D'une part, un modèle désigné par les lettres NN où le **coefficient de coût et celui de durées sont distribués selon une loi normale (modèle 2)**. Ce modèle ne peut pas se comparer directement au précédent car il est estimé sans la variable "dommages"²³³.

également que si la fonction d'utilité comprend certains termes d'interaction avec la durée de déplacement, leur effet doit être pris en compte dans ce calcul.

²³³ L'estimation d'un modèle NN avec dommages, n'a pas été possible. De même l'estimation d'un modèle avec tous les coefficients distribués selon une loi normale a échoué. Dans les deux cas l'estimation ne converge pas. Cette difficulté persiste quel que soit l'algorithme d'optimisation utilisé : BHHH, BFGS, Newton, Pente maximale. Cette difficulté n'est pas résolue en modifiant le paramètre d'échelle des variables (Limdep reference guide, p. R 9-15). Il

Le modèle suivant, appelé **NN avec interactions (modèle 3)**, utilise à la fois une distribution des coefficients et les termes d'interaction. Les variables non significatives au taux de 10% ont été éliminées lors de l'estimation. Ce modèle suggère plusieurs observations.

- Un nombre important de termes d'interaction restent significatifs, même lorsque l'on autorise une variation stochastique des coefficients de durée et de coût.
- Toutefois certains termes d'interaction faisant intervenir le coût ou la durée, qui étaient présents dans le modèle avec interaction disparaissent : notamment l'interaction entre la durée et le secteur 1, et l'interaction entre le coût et la direction (sortante) des flux. Ce résultat est cohérent avec la spécification du modèle qui "absorbe" dans les coefficients stochastiques une partie de l'hétérogénéité des sensibilités au coût et aux durées parmi les différentes entreprises.
- Maintenir les termes d'interaction, en plus de la distribution des coefficients, permet d'améliorer l'ajustement du modèle.

Le dernier modèle (**modèle 4**) est basé sur une hypothèse de **distribution triangulaire**²³⁴ de l'ensemble des coefficients à l'exception de la variable mode (distribuée selon une loi normale). Il représente un cas polaire dans l'estimation, l'ensemble des coefficients (à l'exception d'un seul, la constante spécifique au status quo) étant supposé stochastique. Les indicateurs d'ajustement statistiques, ρ^2 ajusté et logarithme de la vraisemblance, marquent une amélioration par rapport au modèle déterministe avec interaction.

Le Tableau 56 ci-dessous fournit également des indications sur la valeur du temps obtenue pour chacun des modèles. Notamment on remarque que les modèles estimés sur la base d'une distribution normale des coefficients de l'attribut durée, indiquent environ 30 % de probabilité de valeur positive, traduisant, pour une partie non-négligeable de la population, une préférence pour un allongement des durées de transport²³⁵. Ce chiffre indique soit qu'une proportion minoritaire mais non négligeable des chargeurs ont un consentement à payer négatif, soit que le modèle basé sur une distribution normale des coefficients est incorrectement spécifié.

3.4 Estimation des coefficients individuels

Dans la suite de ce chapitre, nous nous concentrons sur les résultats du modèle à distribution triangulaire pour examiner les coefficients individuels. Ce choix se base sur les bonnes performances d'ajustement du modèle ainsi spécifié. Il est conforme par ailleurs aux recommandations émises dans ce domaine : *"l'expérience accumulée suggère cependant que la distribution triangulaire est la meilleure pour calculer de tels résultats à un niveau individuel"*^{xcix} (Hensher [2005], p. 693).

est possible d'obtenir une convergence forcée en relâchant un des critères de convergences, par exemple sur la condition sur le gradient, mais dans tous les cas de figures rencontrés les modifications de l'estimation d'un des coefficients entre la dernière et la pénultième itération était supérieure à 10% de la valeur du coefficient. De ce fait ces résultats ont dû être écartés.

Un examen des données suggère que l'amplitude des valeurs de l'attribut "dommages" est la cause de ces difficultés d'estimation.

²³⁴ Dans ces estimations la distribution triangulaire est contrainte. Son amplitude est fixée à 2β , Cela correspond à l'instruction (t,*) dans le logiciel limdep. On note que l'on n'utilise pas l'instruction (t,1) qui, quant à elle, impose des valeurs uniquement positives aux coefficients. On pourra donc observer des densités non nulles pour des valeurs négatives du coefficient associé à moins la durée (c'est-à-dire positive pour l'attribut durée).

²³⁵ Les distributions estimées fournissent également une probabilité d'avoir un coefficient de coût positif. Cette probabilité est toutefois beaucoup plus limitée que celle concernant l'attribut durées. Un calcul précis de la valeur du temps devrait toutefois prendre en compte la distribution conjointe des coefficients de coût et de durée. Nous négligerons cette complication qui ne modifie pas la teneur des résultats auxquels on aboutit.

On applique ici la technique proposée par Train [2003, chapitres 11 et 12] permettant d'obtenir une estimation des paramètres individuels²³⁶. La densité de probabilité sur l'ensemble de la population est utilisée comme a priori, les choix observés fournissent l'information qui permet d'obtenir comme a posteriori la densité de probabilité des coefficients pour chaque individu.

On note la distribution des paramètres au sein de la population par $g(\beta | \theta)$. La distribution des paramètres pour un individu qui choisit une alternative i peut s'écrire : $h(\beta | i, x, \theta)$. Mais les notations doivent prendre en compte le fait que l'on est en présence, non pas d'un choix isolé, mais d'un ensemble de choix pour chaque individu. On note $y_n = (y_{n1}, \dots, y_{nT})$ les choix effectués dans T circonstances²³⁷, décrites par x_n . La densité de probabilité du coefficient β , pour un individu, peut alors être notée : $h(\beta | y_n, x_n, \theta)$.

La probabilité de l'ensemble de choix $y_n = (y_{n1}, \dots, y_{nT})$ est l'intégrale de $P(y_n | x_n, \beta)$ calculée sur l'ensemble de la distribution des β .

$$P(y_n | x_n, \beta) = \int P(y_n | x_n, \beta) g(\beta | \theta) d\beta \quad (8.17)$$

La fonction $h(\beta | y_n, x_n, \theta)$ que l'on cherche à estimer peut être calculée en utilisant la règle de Bayes. En effet on peut écrire :

$$h(\beta | y_n, x_n, \theta) \times P(y_n | x_n, \theta) = P(y_n | x_n, \beta) \times g(\beta | \theta). \quad (8.18)$$

Cela signifie que la densité de probabilité conjointe de β et de y_n peut être exprimée de deux manières. Soit comme la probabilité de y_n multipliée par la probabilité de β conditionnelle à y_n (terme à gauche du signe égal), soit comme la probabilité de β multipliée par la probabilité de y_n connaissant β (terme à droite du signe égal). Cette égalité peut se réécrire :

$$h(\beta | y_n, x_n, \theta) = \frac{P(y_n | x_n, \beta) g(\beta | \theta)}{P(y_n | x_n, \theta)} \quad (8.19)$$

Tous les éléments du terme de droite sont connus. Par ailleurs, le dénominateur est l'intégrale du numérateur, ce qui implique que l'intégrale de h sur l'ensemble des valeurs de β est égale à un, ce qui est une condition pour qu'elle soit une loi de probabilité. h est donc proportionnelle au numérateur et peut être interprétée de la manière suivante : la densité de β dans la sous-population des chargeurs qui choisissent l'ensemble d'alternatives y_n , parmi les alternatives offertes x_n , est proportionnelle à la densité de β dans la population entière multipliée par la probabilité que y_n soit choisie si les coefficients du chargeur sont β .

On peut de la sorte estimer une densité de probabilité des coefficients de durée et de coût pour chaque entreprise interviewée, et, par une division, la valeur du temps de chaque individu.

²³⁶ Plus précisément on estime un vecteur de coefficients commun à l'ensemble des individus qui, dans les mêmes situations de choix, ont sélectionné les mêmes alternatives. Hensher [2005] propose la notion de coefficients "*choice specific*", plutôt que "*individual specific*". Nous maintenons cependant le terme "coefficients individuels", tout en rappelant qu'il s'agit de coefficients qui peuvent être propres à plusieurs individus. On note que, dans les estimations que nous présentons, nous n'obtenons jamais des coefficients estimés identiques pour deux individus différents.

²³⁷ Par exemple, les T choix d'un questionnaire de Préférences Déclarées.

Représentation non paramétrique de la distribution des valeurs du temps individuelles

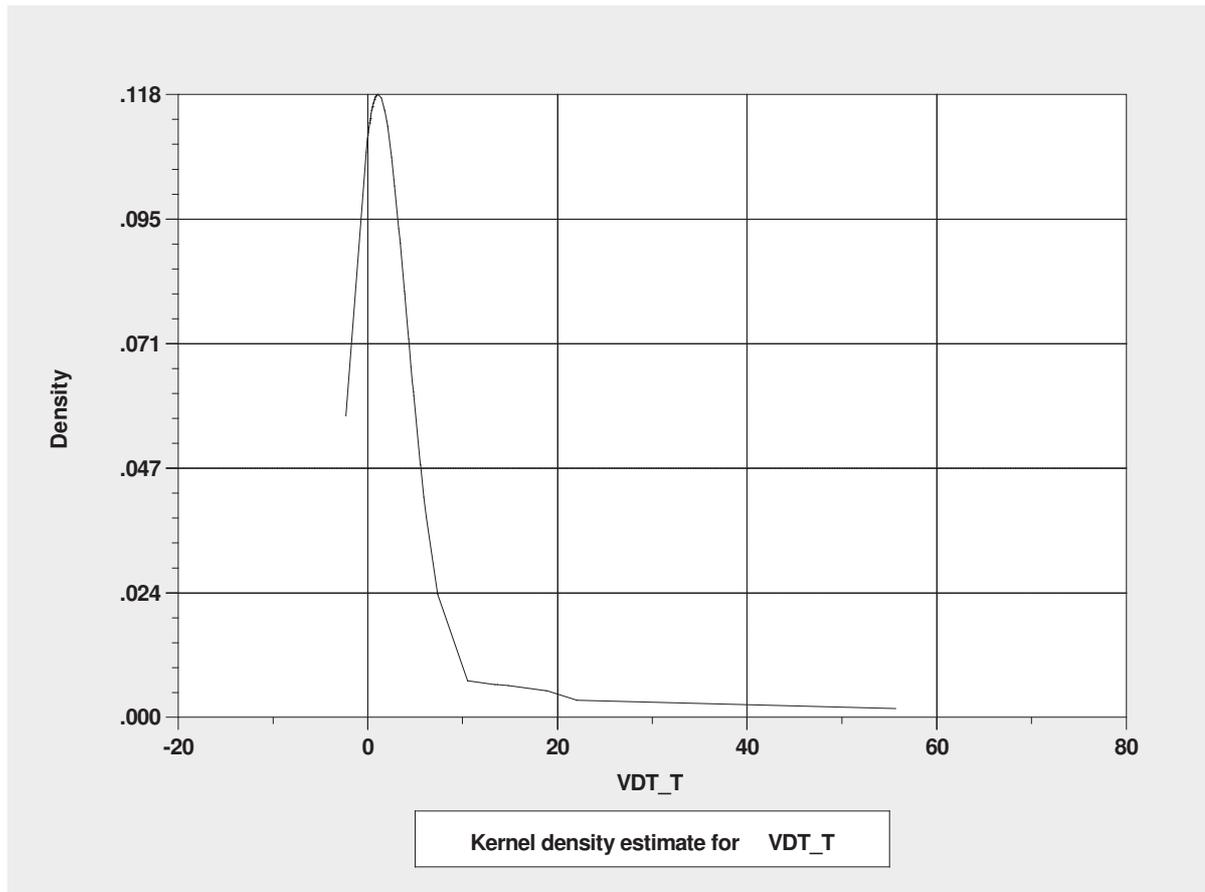
On peut représenter ces résultats par une estimation non-paramétrique en utilisant un estimateur de densité de Kernel²³⁸. La Figure 45 représente la fonction de densité des valeurs du temps obtenue à partir du modèle dans lequel nous avons supposé une distribution triangulaire des valeurs du temps.

L'aspect de cette courbe révèle l'hypothèse sous-jacente de distribution triangulaire des coefficients de coût et de temps dans la fonction d'utilité. Il existera, en effet, au dénominateur du ratio β_t/β_c , une densité non nulle pour des valeurs très faibles de β_c ce qui impliquera une densité non nulle pour des valeurs du temps très élevées.

²³⁸ Les estimateurs de densité Kernel, ont un rôle semblable aux histogrammes. Ils s'affranchissent toutefois d'une limite de ces derniers qui sont sensibles à la définition retenue pour les intervalles. La densité d'une variable x , prenant n valeurs x_i , peut être représentée par une fonction $f(z_j)$, fournissant la densité en M points z_j . Cette fonction est définie par :

$$f(z_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{K\left[\frac{z_j - x_i}{h}\right]}{h}, j=1, \dots, M, \text{ avec}$$

- K , fonction de Kernel,
 x_i , valeurs prise par la variable x ,
 n , nombre d'observations pour la variable x ,
 h , largeur de bande.

Figure 45 : densité de la distribution des valeurs du temps estimée par un kernel²³⁹

²³⁹ Fonction de Kernel : normale ; largeur de bande : 2,54 ; nombre d'observations : 93. Les 2 observations les plus élevées ont été supprimées, car elles sont, toutes les deux, liées à des valeurs des coefficients de coût extrêmement proche de 0. Le traitement adéquat à apporter à ce type de valeurs pourra faire l'objet d'analyses complémentaires. .

Conclusion

Nous reprenons, dans cette conclusion, les trois temps de la réflexion qui nous paraissent pertinents pour analyser l'hétérogénéité des valeurs du temps : expliquer l'hétérogénéité, la représenter, la mesurer.

Expliquer l'hétérogénéité

D'un point de vue théorique, les analyses que nous avons menées dans les chapitres 5 et 6, nous ont dotés d'outils qui se sont révélés pertinents pour étudier les sources de valorisation des gains de temps par les chargeurs et, par la même, leur hétérogénéité au sein de la population des chargeurs. Ces différences s'expriment en premier lieu par rapport à la *somma divisio* entre biens génériques et bien spécifiques, puis à l'intérieur de chacune des catégories ainsi définies, par la distribution au sein des chargeurs des paramètres déterminant le consentement à payer.

Pour les biens génériques, dans le cadre formalisé par Baumol et Vinod, ce consentement à payer dépend des coûts financiers d'immobilisation (au sens strict : "inventory costs") portant sur la marchandise durant son transport et de la valeur du stock optimal.

Pour les biens spécifiques, ce consentement à payer dépend des coûts d'immobilisation en fonction des durées de déplacement et d'un autre terme qui s'exprime à la fois comme (i) la sensibilité des recettes au moment de livraison des marchandises, (ii) la sensibilité des coûts de production par rapport aux durées de production et (iii) la sensibilité des coûts d'approvisionnement aux durées d'approvisionnement, ces trois éléments étant égaux dès lors que les producteurs respectent les conditions marginales temporelles résultant de la maximisation du profit. Ces conditions impliquent, par exemple, que si un nombre important de consommateurs sont sensibles à une livraison rapide de leur bien, un nombre important de producteurs pourront se positionner sur une portion de leurs fonctions de coût de production fortement sensible aux durées (d'approvisionnement, de production, de distribution). Cela impliquera que de nombreux envois seront réalisés avec un fort consentement à payer des entreprises pour une réduction des durées de transport.

Représenter l'hétérogénéité

Les modèles logit à coefficients stochastiques apparaissent comme un outil apte à représenter l'hétérogénéité des préférences. Par rapport aux modèles avec termes d'interaction, ils se distinguent par l'absence de spécification de l'hétérogénéité. Cet élément peut apparaître comme un avantage ou comme un inconvénient. Un avantage parce qu'ils permettent de rendre compte de l'hétérogénéité même en l'absence d'éléments théoriques ou empiriques qui permettent de la spécifier ; un inconvénient parce que cette absence de spécification empêche de déterminer quelles caractéristiques des chargeurs sont liées à leur consentement à payer pour un gain de temps. Cette opposition ne crée toutefois pas de difficulté puisque les deux approches, modèles à coefficients stochastiques et modèles à termes d'interaction sont, au prix de quelques degrés de libertés perdus dans l'induction statistique, parfaitement miscibles.

Reste alors à rendre le modèle opératoire en spécifiant la loi de distribution retenue pour les coefficients stochastiques. Sur ce point nous n'avons pas trouvé de critère de sélection définitif, mais au mieux deux conjectures. La première est que le consentement à payer des chargeurs pour un gain de temps s'exprime comme la somme de différentes composantes. Ce caractère additif est affine avec la loi normale. Toutefois ces différentes composantes additives ne sont pas en grand nombre, et on ne dispose pas d'éléments permettant de savoir si elles sont d'influences comparables et indépendantes entre elles, comme l'exigerait une application rigoureuse du théorème central limite. La seconde conjecture s'appuie

sur une procédure de rétopolation qui permet d'inférer la distribution des consentements à payer des *chargeurs* en fonction de celle des *transporteurs*. On peut alors se baser sur des résultats empiriques en faveur d'une distribution log-normale des valeurs du temps des transporteurs, pour supposer qu'une telle distribution sera également adaptée pour les valeurs du temps des chargeurs. Cette conclusion est toutefois fragilisée par le faible nombre de résultats empiriques sur lesquels elle se base (on recense en fait deux études empiriques) et par le bruit statistique qui existe dans la procédure de rétopolation.

Ainsi, on ne trouve, au mieux, que deux indications, par ailleurs incompatibles entre elles, en faveur d'une distribution log-normale ou d'une distribution normale.

Mesurer l'hétérogénéité

L'application empirique que nous avons réalisée sur la base d'une enquête auprès des chargeurs dans trois régions italiennes nous fournit plusieurs enseignements.

Tout d'abord, elle nous rappelle l'importance du plan d'expérience utilisé dans les enquêtes de préférences déclarées. Sur ce point les valeurs proposées pour l'attribut "dommage" dans la phase de collecte de données ont été la cause de nombreuses difficultés dans la phase de traitement.

Ensuite, on note la faiblesse des valeurs du temps obtenues par rapport aux autres résultats présentés par la littérature. Cette faiblesse peut s'expliquer, au-delà de possibles idiosyncrasies des chargeurs dans les régions concernées, par des raisons empiriques et par des raisons méthodologiques. D'un point de vue empirique, on rappelle que les envois qui ont donné lieu à une interview, ont été sélectionnés en éliminant ceux qui n'étaient pas susceptibles d'être réalisés par transport intermodal. Or les caractéristiques des transports intermodaux, notamment le poids important des envois, sont corrélées négativement à la valeur du temps. D'un point de vue méthodologique, la faiblesse des valeurs du temps mesurées dans cette enquête pourrait également être due à l'amplitude des variations proposée pour la variable durée de transport. Celles-ci varient en effet entre une demi-journée et 2 journées. Widlert [1994] analyse sur des données consacrées au transport de voyageurs comment le niveau des attributs proposés dans un exercice de SP peut avoir un effet sur les valeurs du temps estimées. Cette analyse, qui souligne la contingence des résultats obtenus par rapport aux modalités de collecte des données, fournit une hypothèse pour expliquer la faiblesse des valeurs du temps obtenues dans notre estimation. Cette hypothèse peut apparaître, en outre, comme une remise en cause de la validité des Préférences Déclarées, à moins que l'on puisse parmi l'ensemble des valeurs possibles des attributs déterminer celles qui sont pertinentes pour la mesure de la valeur du temps. Sur ce point deux possibilités sont offertes soit utiliser des valeurs qui sont congruentes aux gains de temps de déplacement constatés dans les projets d'investissements : en général une fraction d'heure, mais on sait que les modifications des durées de *transport* ne se réduisent pas aux modifications des durées de *déplacement* ; soit considérer des gains de temps congruents à l'offre des transporteurs : on se basera alors sur un chiffre supérieur à l'heure, ou probablement à la demi-journée. La conclusion sur ce point est qu'on ne dispose pas en transport de marchandises de résultats tels que ceux collectées par Widlert en transport de voyageurs pour déterminer le "bon" niveau de l'attribut durée à utiliser dans les enquêtes de SP. Ce point nécessiterait probablement des analyses complémentaires.

Au-delà de la moyenne des valeurs du temps, nos résultats numériques fournissent également des éléments sur la dispersion des valeurs du temps. Nos résultats sont, tout d'abord, marqués par l'impossibilité de réaliser certaines estimations. Notamment les estimations basées sur une distribution log-normale du coefficient de l'attribut durée ne convergent pas. C'est le cas également de nombreuses estimations basées sur une distribution normale.

En revanche une estimation basée sur une distribution triangulaire des coefficients de l'attribut durée, aboutit à des résultats satisfaisants. Les gains d'ajustement du modèle sont importants et d'un ordre de grandeur différent de ceux que l'on peut obtenir couramment lorsque l'on cherche à améliorer la spécification d'un modèle dans le cadre des modèles à coefficients déterministes.

En outre, l'utilisation de coefficients stochastiques apparaît comme complémentaire, plutôt que comme substitut, à l'utilisation de termes d'interaction. Les deux techniques, utilisées conjointement, fournissent des résultats supérieurs à ceux obtenus en n'utilisant qu'une seule des deux méthodes. Cette indication, constatée par ailleurs en transport de voyageurs (Ben-Akiva et Gopinath [1996b]) nécessiterait d'être consolidée par des résultats ultérieurs dans le domaine des transports de marchandises.

Enfin les résultats que nous avons produits nous permettent de valider certaines des hypothèses que nous avons formulées. Notamment nous avons supposé que le statut de l'envoi par rapport à son destinataire ou son expéditeur pouvait être neutre : que le chargeur soit le l'expéditeur ou le destinataire, que la source de la valorisation du temps agisse sur l'expéditeur ou sur le destinataire, n'était pas selon nous essentiel pour l'analyse de la valeur du temps des chargeurs, puisque les arbitrages réalisés sur les conditions de l'envoi "internalisent" les choix des différents agents économiques qui sont concernés par la transaction. Sur ce point, nos résultats numériques montrant que pour les données d'étude, la seule segmentation non significative est celle entre flux entrant et flux sortants, apparaissent comme une indication favorable à cette hypothèse.

Une autre hypothèse que nous avons formulée concerne la différence entre les biens génériques et les biens spécifiques. Nous observons que la segmentation basée sur le caractère spécifique ou générique des biens (dans notre cas d'espèce "biens produits à la demande" et "autres modes de gestion") est significative ce qui constitue une indication favorable à l'hypothèse que nous avons formulée dans ce sens.

Conclusion générale

*"The research on the valuation of freight transport attributes is still in its infancy."
Erik Bergkvist [2001]*

La démarche que nous avons suivie dans cette thèse nous invite, en conclusion, à poser un regard à la fois rétrospectif et prospectif : rétrospectif, tout d'abord, en revenant sur notre questionnement initial ; prospectif, ensuite, en soulignant les pistes de recherches qui nous apparaissent devoir être privilégiées et certaines perspectives offertes par le mode de traitement que nous avons proposé.

Revenons tout d'abord sur notre questionnement initial.

1. Un retour sur nos questionnements initiaux

L'objectif que nous nous étions fixé dans notre introduction était d'analyser les effets d'une modification des durées de déplacement afin de déterminer de quelle manière l'évaluateur public doit valoriser les gains de temps en transport de marchandises. En cherchant la réponse à cette question nous avons accumulé un certain nombre de résultats qui peuvent être restitués selon le triptyque que nous avons proposé : *l'objet*, il s'agit alors de décrire les modifications de la situation des agents économiques qui ont lieu lorsque les durées minimales de déplacement sont modifiées ; *la norme*, il s'agit de définir la manière dont ces modifications doivent être prises en compte par l'évaluateur public ; *la mesure*, on vise alors à connaître des moyens de quantifier ces effets.

L'objet

On présente tout d'abord l'objet de la valeur du temps, c'est-à-dire la description des effets d'une modification des durées de déplacement sur les différents agents économiques.

Les effets d'un gain de temps

La compréhension de ces effets met en jeu une distinction fondamentale entre des biens génériques et des biens spécifiques.

Lorsque le bien est **générique**, les producteurs ont la possibilité de produire le bien en avance, et disposent donc d'un stock. Le rapport au temps des producteurs peut alors être analysé essentiellement sous l'angle du stock optimal ; et les effets d'une diminution des durées de déplacement se conçoivent alors par leurs effets sur le coût du stock optimal.

D'autres mécanismes sont à l'œuvre lorsque le bien est un bien **spécifique**. Ces mécanismes peuvent être présentés dans le cadre d'une représentation de l'économie concurrentielle mobilisant trois types d'acteurs : des consommateurs, qui peuvent être sensibles au moment de livraison de la marchandise ; des producteurs qui transforment un bien en arbitrant entre la durée consacrée à trois phases : approvisionnement, production et transport des extrants ; des transporteurs qui arbitrent entre durées de déplacement et durées consacrées à un ensemble d'opérations hors déplacement. Dans cet arbitrage le transporteur est contraint par l'existence d'une durée minimale de déplacement. On peut alors définir pour chaque catégorie d'agents les conditions marginales, qui s'expriment non pas par rapport aux quantités mais par rapport aux durées. On utilise alors la notion de coût marginal temporel ou de recette marginale temporelle. Ces conditions marginales génèrent un équilibre, exprimé dans le repère prix-temps. Or cet équilibre est contingent à un niveau donné de la contrainte de durée de déplacement minimale. Lorsque ces durées minimales de déplacement connaissent une modification, les conditions de l'arbitrage temporel du transporteur sont altérées, ce qui modifie sa courbe de coût et modifie indirectement l'équilibre qui se forme sur le marché des biens de consommation finale.

Ce mode de représentation nous fournit une formulation des consentements à payer des différents agents économiques pour une réduction des durées de déplacement.

Consentements à payer

Le Tableau 57 nous fournit une expression formelle du **consentement à payer** des différents agents économiques pour une diminution des durées qui les concernent.

Tableau 57 : que mesure le consentement à payer des consommateurs, des chargeurs et des transporteurs ?

Catégorie d'agents	Durée	Expression du consentement à payer
Consommateurs finaux	"order to delivery". durée de "livraison"	$cap_e = (\delta U / \delta t_a) / \lambda$, avec : $\delta U / \delta t_a$ Utilité marginale d'une anticipation de la disponibilité du bien, λ utilité marginale de la monnaie
Chargeurs	durée de transport	$cap_e = -ci'_t + r'_t$, avec : ci'_t , coûts marginaux temporels d'immobilisations r'_t , revenus marginaux temporels
Transporteurs	durée de déplacement	$cap_t = -cd'_d - chd'_d + rt'$, avec cd'_d coûts marginaux temporels de déplacement t chd'_d coûts marginaux temporels des opérations de déplacement rt' recettes marginales temporelles

Ces expressions fournissent ainsi une formalisation des **déterminants** de la valeur du temps de chaque catégorie d'agents économiques. Elles nous fournissent par la même des éléments de compréhension de **l'hétérogénéité** des valeurs du temps puisque la distribution, au sein de la population étudiée, des paramètres des fonctions de coûts et de recettes déterminera des différences de valorisation des gains de temps. Ainsi que le suggère la représentation hédonique de l'équilibre sur le marché des transports de marchandises, les différents agents économiques s'apparieront, *sur le marché des biens de consommation finale*, selon les préférences des consommateurs pour une diminution des durées de livraison et la sensibilité aux durées des fonctions de coût des producteurs et, *sur le marché du fret* selon le consentement à payer des transporteurs pour un gain de temps et les coûts marginaux temporels des transporteurs.

Dotés de cette formalisation, nous pouvons alors proposer de revenir aux méthodes de mesure de la valeur du temps.

La mesure

Concernant la mesure, la formalisation et les traitements numériques que nous avons proposés peuvent être mis à profit de deux manières. Tout d'abord, ils fournissent une formalisation à mettre en regard des résultats numériques disponibles dans la littérature. Ensuite, ils permettent d'évaluer les deux méthodes que nous avons mises en œuvre.

Que mesurent les enquêtes auprès des chargeurs et des transporteurs ?

La formalisation proposée permet d'identifier ce que l'on mesure lorsque l'on fait une enquête de Préférences Déclarées ou de Préférences Révélées auprès des chargeurs ou des transporteurs. Le taux marginal de substitution entre durée de transport et numéraire, qui est obtenu par des données de RP et de SP, correspond à un consentement à payer. Il aboutit alors à une évaluation numérique des éléments fournis dans le Tableau 57. Ce tableau nous amène à plusieurs remarques :

1 - On peine à trouver une estimation numérique à mettre en correspondance avec la première ligne du tableau, celle qui concerne les préférences des consommateurs. Les résultats numériques que nous avons collectés concernent en effet uniquement les deux autres catégories d'agents économiques.

2 - Les consentements à payer des transporteurs et des chargeurs se comparent aux résultats que fourniraient d'autres méthodes de quantifications et notamment l'approche par les coûts. On constate ainsi que le consentement à payer des chargeurs comme celui des transporteurs excède la réduction de coût que chacun de ces agents connaît isolément lorsque les durées de transport ou de déplacement diminuent.

3 - Le point important est ici que le consentement à payer des transporteurs pour une diminution des durées de déplacement va cumuler celui des différents agents économiques.

Méthodes de quantification

Concernant la seconde question celle des méthodes de mesures, on constate tout d'abord au sein des résultats que nous avons présentés, le caractère dominant des méthodes basées sur le paradigme RUM. Ces méthodes n'étant concurrencées que par un nombre fortement plus réduit de résultats numériques obtenus sur la base d'une approche par les coûts (NEA [1991], SETRA [1995]).

Notre travail amène à envisager plusieurs voies pour le développement des méthodes de quantification.

La première, qui est peut-être la plus ambitieuse, repose sur la reconnaissance du caractère restrictif de la description des processus de choix qui est utilisée dans les modèles basés sur la Maximisation de l'Utilité Stochastiques. Il s'agit alors de chercher à incorporer dans le paradigme de maximisation de l'utilité collective une description plus réaliste des processus de choix. C'est la piste proposée par la méthode IACE (Interactive Agent Choice Experiment) (Hensher [2003]).

La seconde voie est, en s'en tenant au paradigme de maximisation de l'utilité aléatoire, de poursuivre une diversification ou un rééquilibrage entre les différents types de données. Il s'agirait en premier lieu de corriger, au moins partiellement, le déséquilibre entre les résultats basés sur des données de RP et ceux basés sur des données de SP. Ou encore, il s'agirait de tirer profit au mieux des possibilités d'estimations basées sur l'utilisation conjointe de ces deux types de données. Sur ce point, peu de résultats numériques ont été obtenus en France, et ils gagneraient à être consolidés.

Une autre voie est de tirer partie du développement actuel de méthodes aptes à rendre compte de l'hétérogénéité des valeurs du temps. Les résultats que nous avons présentés, basés sur l'utilisation de coefficients stochastiques autorisant une variation des préférences des agents économiques, laissent penser que ces méthodes sont non seulement attirantes d'un point de vue conceptuel mais aussi permettent des gains notables dans la représentation du phénomène étudié. Ces résultats appellent à être complétés, ils soulignent par ailleurs l'importance de la loi statistique retenue a priori pour représenter la dispersion des paramètres sous-jacents aux préférences des agents économiques. Bien que chacune de ces lois ne soit au mieux qu'une stylisation, la disponibilité future dans les logiciels d'estimation des lois statistiques (loi de Johnson par exemple) mieux adaptées au phénomène étudié semble également une source possible d'amélioration des modèles existant.

Enfin, une dernière orientation est de se placer en dehors du paradigme de Maximisation de l'Utilité Stochastique. L'approche hédonique que nous avons appliqué aux transactions observées sur le marché des transports de marchandises fournit ainsi une alternative. Sur ce point nos résultats gagneraient à être comparés ou consolidés. Ils font apparaître un nombre de valeurs du temps individuelles négatives qui paraît excessif, par ailleurs ils font apparaître une sensibilité forte à la forme fonctionnelle retenue pour l'ajustement de la fonction de prix hédonique. Ces deux points gagneraient à être comparés à d'autres résultats.

On aboutit ainsi à une recommandation en faveur de la diversification des méthodes de quantification de la valeur du temps. Toutefois la production de résultats quantitatifs ne peut être mise à profit pour l'évaluation de projet que si l'on parvient à leur donner un sens précis par rapport à des préoccupations normatives. Ces préoccupations constituent le troisième volet de notre démarche.

La norme

Idéalement notre travail aurait pu aboutir à la formalisation d'une fonction de bien-être collectif en fonction des gains de temps. Notre travail a toutefois dû s'attarder, en préalable, sur la description de l'équilibre, et l'analyse du rôle des opérations hors déplacement dans l'organisation des opérations de transport. Cette analyse nous semble constituer un préalable à la formulation de Welfare Functions. Ce préalable étant maintenant l'objet d'un traitement ad hoc, la formalisation de l'effet des durées de déplacement en terme de Welfare Functions constitue une des prochaines étapes de l'étude de la valeur du temps en transport de marchandises.

En l'absence de cette formulation, on peut toutefois analyser la portée de notre travail suivant quatre thématiques. La première consiste à déterminer à qui profitent les gains de temps. La seconde établit un lien entre valeurs du temps des marchandises et les questions d'équité. La troisième prend position par rapport au débat sur l'additivité des valeurs du temps (valeur du temps des chargeurs ou des transporteurs). La quatrième revient sur la valeur du temps utilisée actuellement en France dans les procédures d'analyses coûts-avantages.

A qui profitent les gains de temps ?

Les formulations que nous avons retenues pour le consentement à payer des différents agents économiques concernés par un gain de temps, suggèrent une répartition des gains entre transporteurs, chargeurs et consommateurs finaux. Toutefois cette situation correspond à des effets de court terme. A plus long terme, les bénéfices des chargeurs et des transporteurs, qui s'expriment en termes de baisse des coûts, pourront pour tout ou partie se répercuter sur les prix d'équilibre du marché et in fine, profiter intégralement au consommateur. Cette conjecture, qui n'est certes pas indispensable à la formulation de

recommandations normatives²⁴⁰, permet toutefois de simplifier fortement l'analyse des effets d'un gain de temps sur le bien-être collectif. Elle nécessite toutefois un examen plus approfondi qui repose notamment sur l'examen des conditions de concurrence parmi les transporteurs et parmi les producteurs.

Pour les **transporteurs**, l'appréciation que l'on porte sur le degré de concurrence doit probablement être différente en fonction du type d'activité auquel on s'intéresse. Notamment elle est probablement plus forte dans les activités de traction que dans des activités logistiques plus complexes. Le mouvement d'intégration aval mené par les distributeurs, tel qu'il est décrit par Paché et Sauvage [2004, p. 69] se justifie par l'existence d'un gisement de gains de productivité dans les activités logistiques de distribution. Si les distributeurs prennent le contrôle de leur logistique aval, cela suggère qu'il existe dans ces activités une possibilité pour les opérateurs logistiques de retenir les gains de productivité qui peuvent intervenir à ce stade de la distribution.

Outre celle qui prévaut entre transporteurs, la concurrence qui prévaut entre **producteurs** est également déterminante pour la compréhension des mécanismes par lesquels une diminution des coûts de production se répercute sur le marché des biens de consommation finale. Sur ce point on peut s'appuyer sur des analyses ad hoc. Rouwendal [2001] analyse de quelle manière les modifications du coût d'un intrant modifient le surplus des consommateurs finaux. Il montre que dans une situation de concurrence parfaite, les modifications de surplus mesurées sur le marché des consommations intermédiaires (dans notre cas sur le marché des transports de marchandises) fournissent une mesure *exacte* des modifications de surplus sur le marché de consommation finale. Il montre également, et ce résultat est probablement le plus important, qu'en cas de compétition imparfaite parmi les producteurs, la mesure réalisée sur le marché des intrants peut selon les cas fournir une sous-estimation ou une surestimation du surplus des consommateurs. La conclusion à laquelle nous pousse ce résultat, confirmé par ailleurs de manière plus spécifique par Jara Diaz [1986] pour le transport de marchandises, est qu'en utilisant une mesure des modifications de surplus sur le marché des transports, on disposera non seulement d'une mesure exacte des modifications de surplus des consommateurs dans la situation de concurrence parfaite, mais aussi on ne commettra pas une erreur systématique dans le cas où les producteurs sont en monopole ou en concurrence monopolistique²⁴¹.

Valeur du temps et équité : en marchandises aussi ?

Le second aspect lié à la norme concerne les questions d'équité. On souligne tout d'abord la dissociation qui prévaut en général entre les travaux sur la valeur du temps en transport de marchandises et les questions d'équité. Par exemple, la notion d'effets redistributifs apparaît rarement, et le plus souvent avec un sens particulier²⁴² dans les travaux consacrés au transport de marchandises. Toutefois il ne nous semble pas y avoir de raison, en dehors de difficultés conceptuelles et de l'éloignement des champs disciplinaires concernés, d'écarter ces questions.

A l'équilibre, le consentement à payer des transporteurs et des chargeurs contient un terme qui dépend de $(\delta U_n / \delta t_a) / \lambda_n$, où λ_n est l'utilité marginale de la monnaie de l'individu n . Dès lors que ce terme n'est pas égal entre individus l'utilisation de ces consentements à payer introduira une distorsion dans la fonction de bien-être collectif.

²⁴⁰ L'analyse coûts-avantages moderne (Drèze et Stern [1990]) offre ainsi un mode de traitement, qui en prenant en compte les transferts forfaitaires et la répartition des profits permet une estimation des conséquences d'une modification de l'économie sans que l'ensemble des modifications de l'économie ne soient reflétées par les prix.

²⁴¹ L'intensité du biais dépend positivement du degré de monopole sur les différents marchés mis en relation par l'infrastructure de transports et négativement de l'élasticité-prix de la demande de biens finaux.

²⁴² C'est ainsi que, dans son analyse des welfare effects de la déréglementation des tarifs du transport de marchandises aux Etats-Unis, Friedlander [1981] utilise le terme "redistributive effects" pour désigner la répartition régionale de l'activité.

Mais cette difficulté n'est pas la seule. Si l'on supprime l'effet du consentement à payer des consommateurs finaux en supposant $(\delta U_n / \delta t_n) / \lambda_n = 0 \forall n$, (on se place dans la situation particulière où les individus sont indifférents au moment où ils reçoivent le bien) l'effet des gains de temps sur le bien-être collectif sera alors entièrement résumé par leurs effets sur les coûts des transporteurs et des entreprises. Une application du principe de compensation de Hicks-Kaldor aboutira à sélectionner comme critère :

$$\sum_{n=1}^N (p \cdot x_n - p \cdot x'_n), \text{ avec :} \quad (9.1)$$

p , vecteur des prix dans la situation initiale,
 x_n , vecteur des consommations dans la situation initiale,
 x'_n , vecteur des consommations dans la situation finale.

Or, ainsi que le rappelle Emile Quinet, ce critère ne pourra être valable que sous l'hypothèse où la répartition des revenus est optimale (Quinet [1998] p. 206).

Pour finir, on pourrait souhaiter replacer la valorisation des gains de temps dans la perspective d'approches non individualistes. Qu'advient-il des mesures des valeurs du temps si l'on abandonne le paradigme additif représenté par les fonctions de type Bergson – Samuelson ou le critère de compensation, au profit des formulations inspirées par Rawls ou par Sen ? De quelle manière doit-on prendre en compte ces gains de temps si l'on s'intéresse au niveau d'utilité minimal dans la population concernée ? De quelle manière ces gains de temps contribuent-ils aux "*capabilités*"²⁴³ ?

Dans cette perspective, la valeur que la collectivité doit accorder aux gains de temps du transport de marchandises pourrait être relativisée. Elle pourrait également différer entre celle utilisée pour la prévision et celle utilisée en évaluation.

L'additivité des valeurs du temps

La troisième question que nous considérons est celle de l'additivité des valeurs du temps. En d'autres termes, est-on fondé à additionner dans l'évaluation les valeurs du temps des chargeurs à celle des transporteurs. La réponse que l'on donne à cette question dépend de la définition que l'on retient de la valeur du temps et du critère par lequel on distingue valeur du temps des chargeurs et valeurs du temps des transporteurs. Cela peut apparaître plus clairement si l'on oppose deux modes de représentation.

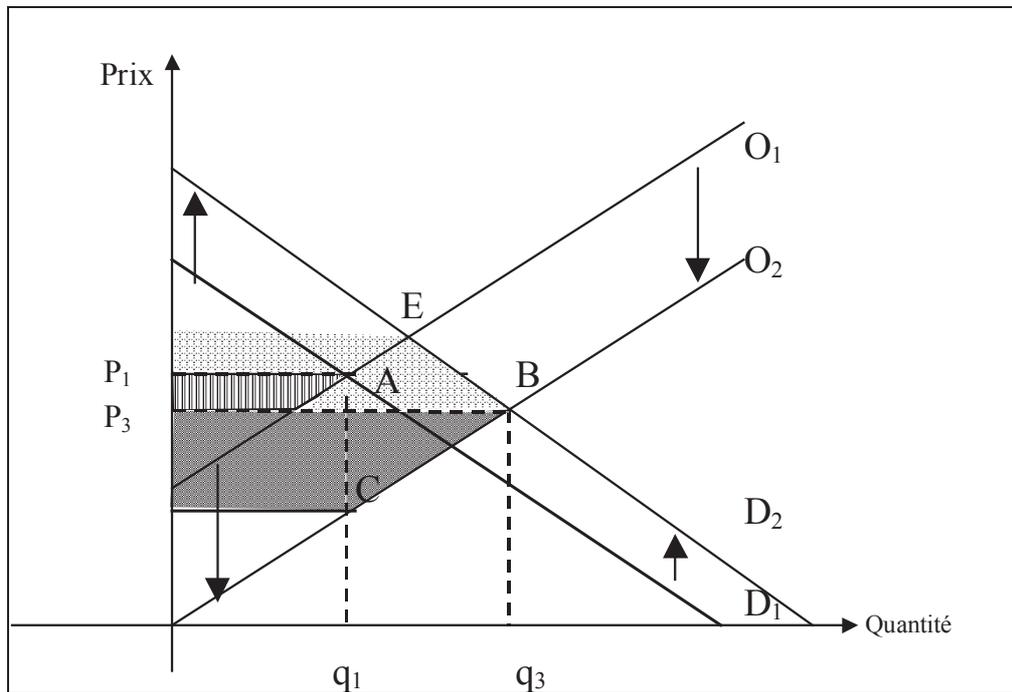
Ainsi, si l'on utilise le consentement à payer des *transporteurs*, on remarque qu'il intègre le consentement à payer des chargeurs et que ce dernier intègre, à son tour, celui des consommateurs finaux. L'addition des valeurs du temps des chargeurs ou des transporteurs aboutirait donc à un double compte.

Par contraste, on peut représenter les modifications du surplus marshallien sur le marché des transports de marchandises. La Figure 46 représente la modification des surplus des producteurs (transporteurs) et des consommateurs (les consommateurs de service de transport, c'est-à-dire ce que nous avons appelé jusqu'à ce point les producteurs, mais que nous appellerons pour ce développement "les entreprises"). Sur cette figure on représente une courbe d'offre de transport ex ante (O_1) et ex post (O_2). Le déplacement de cette courbe reflète la modification des coûts de transporteurs. On représente aussi un déplacement des courbes de demande de D_1 à D_2 entre les situations ex ante et ex post. Sur cette représentation, la valeur du temps des chargeurs représentée par les seules modifications des coûts de transport, ne fournit qu'une représentation partielle (l'aire grisée foncée), de la modification totale du surplus (aire grisée foncée + aire grisée claire). Si la valeur du temps des transporteurs est définie

²⁴³ Nous reprenons le terme *capabilité*, préféré au terme *capacité*, suivant la recommandation formulée par Amartya Sen (2^{ème} conférence internationale sur la capabilité, Pavie, Septembre 2003).

uniquement par la baisse des coûts, elle ne permet de mesurer qu'une partie des effets de la baisse des durées de déplacement.

Figure 46 : surplus marshallien pour une modification de l'offre et de la demande de transport



La conclusion, mais elle n'est pas surprenante, est que la question de l'additivité des valeurs du temps des chargeurs et des transporteurs ne peut avoir de réponse que si l'on définit les termes valeurs du temps auxquels on se réfère.

Quelle valeur utiliser dans l'estimation ?

Ces éléments nous nous invitent également à nous prononcer sur la valeur de 25,6 euros par heure et par véhicule (valeur 1994) proposée par la circulaire de la direction des routes de 1998 pour évaluer les projets routiers en rase campagne. On souligne alors plusieurs éléments.

Le premier élément est que cette valeur est basée sur l'estimation des coûts de fonctionnement des transporteurs. Elle ne rend compte que d'une partie des effets d'un gain de temps. On pourrait donc souhaiter y ajouter une autre composante. Toutefois, on doit ici prendre garde au fait que les 25,6 euros proposés en France ne constituent qu'une estimation. On ne pourra conclure qu'elle constitue une sous-estimation que dans la mesure où l'erreur d'estimation sur cette donnée est inférieure à son biais. Sur ce point, on trouvera dans des travaux réalisés aux Pays-Bas (NEA [1991] McKinsey [1986]) des quantifications légèrement supérieures.

La question devient alors de savoir quelle valeur attribuer aux effets additionnels des gains de temps. L'alternative est la suivante : quantifier les gains additionnels en utilisant la valeur du temps des chargeurs et les additionner aux estimations de coût dont on dispose ; ou bien : écarter ces dernières estimations et leur substituer le consentement à payer des transporteurs pour un gain de temps.

La première démarche aboutit à certaines difficultés de par la relative *discordance* des estimations dont on dispose. Certes, une majorité des résultats que nous avons recensés dans le chapitre 3 s'établissent dans un ordre de grandeur de 25 à 40 euros par envoi et par heure. Mais avant de retenir une valeur de cet intervalle, il conviendrait d'identifier plus précisément les raisons pour lesquelles existe un autre groupe

de résultats, dont ceux que nous avons obtenus pour l'Italie, qui valorisent les gains de temps à quelques euros par envoi et par heure. Une autre difficulté est que ces résultats fournissent une valeur du temps exprimée en euros *par envoi et par heure*, il faut donc, pour l'évaluation d'un projet d'infrastructure convertir les estimations utilisées en euro par véhicule et par heure. Or cette conversion pourrait soulever des difficultés.

La seconde démarche évite cette dernière difficulté. La mesure du consentement à payer des transporteurs peut directement être exprimée par véhicule.heure. Un second avantage est qu'elle permet d'exprimer l'ensemble des effets d'un gain de temps par une mesure unique, sans avoir à additionner des quantifications obtenues par des méthodes différentes. Un troisième avantage est qu'elle prend aussi en compte, outre les coûts de déplacement et le consentement à payer des chargeurs, une troisième composante qui est l'effet des durées de déplacement sur les coûts des opérations hors déplacement des transporteurs.

Si on s'en tient à cette deuxième solution, la difficulté est alors que l'on fait face, ici encore, à une relative diversité des quantifications obtenues. Les valeurs s'étendent, pour les véhicules lourds de 19 euro (HCG [1996], choix d'itinéraire, transport pour compte de tiers) à 75 euros (Wynter [1995], choix d'itinéraire autoroutier), cette dernière estimation apparaissant comme une valeur isolée. L'ensemble des valeurs disponibles étant en général situées entre 25 et 45 euros. Il est donc possible que le consentement à payer des transporteurs pour un gain de temps soit supérieur au chiffre actuellement retenu par les pratiques administratives en France pour valoriser les gains de temps, mais donner une quantification précise de ces éléments relève, encore, de la gageure ; et on serait en peine de fournir des indications plus précises que celle suggérant que ce biais pourrait représenter quelques euros par véhicules et par heure.

Rétrospectivement, la formalisation que nous avons proposée nous fournit des éléments pour savoir comment utiliser la valeur du temps à des finalités normatives, en complément des aspects descriptifs et empiriques. Outre ces résultats, notre travail nous invite aussi, de manière prospective à recommander des analyses complémentaires.

2. Quelles analyses complémentaires ?

Plusieurs analyses complémentaires nous apparaissent particulièrement indiquées.

En premier lieu, nos résultats empiriques présentés dans les chapitres N et N+1 gagneraient à être consolidés par d'autres éléments. En particulier, les traitements hédoniques et les applications des modèles Logit à paramètres stochastiques manquent de points de comparaison parce que, pour les premiers, la durée de transport est en général écartée des estimations empiriques ; tandis que, pour les seconds, les applications au transport de marchandises restent peu nombreuses.

Au-delà de la production d'éléments de comparaison, nous suggérons également quatre extensions à notre analyse.

Possibilité d'une analyse en équilibre général

L'ensemble des analyses que nous avons rencontrées, ainsi que celle que nous avons menée, correspondent à un équilibre partiel. Or, ainsi que le souligne BTRE [1999], les modifications de l'équilibre sur le marché des transporteurs affectent d'autres marchés : marchés de l'emploi, marché des consommations intermédiaires. Si l'on néglige ce type de lien, la description des effets d'une modification des durées de transport devient notablement plus aisée, mais au prix d'une représentation du phénomène qui l'ampute d'une partie des relations qui existent pourtant dans le corpus étudié.

On peut alors procéder soit théoriquement en construisant une représentation mathématique de l'équilibre générale, et en formalisant l'effet d'une diminution des durées de déplacement sur l'équilibre économique ; soit, si l'on dispose, en outre, d'un équilibre général *calculé*, simuler de manière numérique l'effet d'une diminution des durées de déplacement sur l'équilibre obtenu.

La difficulté conceptuelle, et la lourdeur de l'appareil économétrique à mettre en œuvre sont alors importantes, et doivent être mises en regard des bénéfices que l'on peut tirer d'une étude de ce phénomène en équilibre général²⁴⁴. Ces difficultés peuvent toutefois être amoindries si cette analyse se base sur des travaux consolidés : il existe des modèles d'équilibre spatial calculé qui intègrent une description détaillée du secteur des transports de marchandises (Hussain [1996]). On peut alors mettre à profit l'existence de ces outils pour obtenir une estimation des effets d'une diminution des coûts de transport dépendant des durées de transport.

Certes, la mise en œuvre de cette approche soulève des difficultés. Soit on s'en tient à une description structurelle des effets d'une modification des durées de déplacement, mais on risque alors de faire face à des formulations dont il est difficile de faire émerger une conclusion. Soit on utilise un équilibre calculé, mais il est possible que l'incertitude du résultat numérique obtenu soit forte par rapport à l'importance du phénomène mesuré.

Les bénéfices d'une représentation en équilibre général, doivent être mis en regard du surcroît de complexité du modèle à mettre en œuvre. L'alternative pourrait être résumée en des termes brutaux de la manière suivante : soit amputer le phénomène étudié de l'ensemble de ses liaisons avec le reste de l'économie, ce qui permet d'en obtenir une description aisément manipulable, soit représenter le phénomène dans l'ensemble de ses relations avec les autres marchés, mais le prix à payer est alors un degré de complexité supplémentaire et le risque que les effets étudiés soit dominés par les hypothèses et les simplifications du modèle utilisé.

Raffiner la distinction entre biens génériques et biens spécifiques

La deuxième analyse à laquelle ce travail nous invite est d'approfondir ou d'affiner la distinction entre biens génériques et biens spécifiques.

Il s'agit tout d'abord de considérer qu'au cours de son cycle de production un bien peut changer de statut et passer, par exemple, du générique au spécifique. Cette transformation, qui est peu éloignée de la notion de "point de pénétration de la commande", pourrait donner lieu à un traitement formel. Cela amène, en outre, à considérer des situations productives mixtes, dans lesquelles les inputs et/ou les outputs peuvent l'un et l'autre ressortir à des catégories différentes. Cette généralisation nous paraît soulever assez peu de difficultés. Par exemple, dans la situation où les inputs sont génériques et les outputs spécifiques, le coût de transport des intrants en fonction de la durée d'approvisionnement ($cti(t_0)$ avec nos notations) peut être remplacée par une autre fonction qui traduit la différence de coût lié à la reconstitution du stock optimal lorsque le prélèvement des inputs est déplacé dans le temps.

La situation est plus complexe lorsque l'on considère des situations qui ne rentrent pas aisément dans la catégorisation : générique – spécifique. Comment rendre compte de "séries" qui ne sont pas personnalisées mais qui correspondent à une commande ponctuelle non reproductible ? Dans cette situation la gestion des flux logistiques doit probablement panacher le recours à une gestion de stock et l'égalisation des coûts et recettes marginales temporelles.

²⁴⁴ Une autre difficulté est que si on veut rendre compte dans un modèle d'équilibre général de l'ensemble des relations que nous avons mis en évidence, il faut alors intégrer dans ce modèle une description des arbitrages des consommateurs en fonction de la date de disponibilité du bien.

Ce constat nous invite donc à des prolongements ultérieurs pour prendre en compte des catégorisations plus fines ou moins dichotomiques que l'opposition entre biens génériques et biens spécifiques.

Analyser les préférences des consommateurs par rapport à la date de disponibilité des biens

Un autre point concerne l'analyse des préférences des consommateurs par rapport à la date de disponibilité des biens. Sur ce point, si la théorie microéconomique du consommateur fournit un cadre qui se prête à l'analyse de ce type de préférences, nous n'avons rencontré que peu d'éléments empiriques pour estimer ce phénomène. Cette difficulté n'est pas dirimante, car l'analyse des conditions marginales montre que le consentement à payer des transporteurs ou des chargeurs pour un gain de temps rend compte du consentement à payer des consommateurs : si l'on souhaite obtenir une mesure de l'effet d'un gain de temps, indépendamment de sa décomposition entre sources de valorisation, on pourra alors négliger cette question. Si par contre on souhaite isoler cette source on pourra souhaiter disposer d'éléments empiriques.

La prise en compte des rythmes circadiens

Une autre analyse complémentaire concerne la prise en compte du caractère circadien des activités de transport, de production et de consommation. Nous avons considéré des coûts de production ou des préférences des consommateurs définis par rapport à un temps, par certains aspects, abstrait. Dans cette description les fonctions de coût sont continues, dérivables, elles ne présentent pas de point d'inflexion. Dans une représentation plus réaliste on pourrait souhaiter prendre en compte une représentation plus complexe de ces phénomènes. La diminution des durées de transport n'a probablement pas la même valeur selon l'heure à laquelle on se situe. Cet élément pourrait, partiellement du moins, expliquer le nombre apparemment élevé de consentements à payer négatifs obtenus dans les travaux empiriques que nous avons réalisés. Ce point est probablement une des sources principales d'améliorations de la compréhension de la valeur du temps en transport de marchandises.

Notre analyse invite ainsi à des prolongements qui concernent à la fois la production d'éléments quantitatifs susceptibles d'être comparés, l'utilisation d'autres méthodes de mesures, l'approfondissement d'hypothèses et la prise en compte des variations circadiennes.

Arrivés au terme de cette démarche, on peut pour finir, mettre en évidence certains points saillants de notre analyse et suggérer leur mise en perspective.

3. Perspectives

Ces points, au nombre de trois, concernent essentiellement la représentation du temps dans la production et la consommation.

Le rôle du temps dans la production

Notre conjecture sur ce point est que la description que nous avons réalisée des arbitrages effectués par différents types d'entreprises et par les consommateurs ne s'appliquent probablement pas uniquement au transport. Étendre la validité d'un tel paradigme à d'autres types d'opérations nécessiterait un examen attentif aux singularités de tel ou tel processus de production. Du moins ne trouve-t-on pas de raison a priori de restreindre la portée de cette approche au seul secteur des transports. Les conditions essentielles à la mise en œuvre des éléments les plus fondamentaux de notre formalisation étant par ailleurs limitées :

elles résident dans l'existence de coûts variables en fonction de la durée dédiée à une opération. L'analyse en statique comparée pourra être menée dès lors qu'il existe une modification d'une des fonctions qui décrit ce coût : déplacement du point de troncature s'il existe des durées minimales, déplacement ou déformation de cette courbe si d'autres modifications ont lieu.

Une accélération du temps ?

Un second point saillant concerne l'existence de phénomènes d'accélération dans l'équilibre économique partiel que nous avons décrit. Ces phénomènes apparaissent dans l'analyse que nous avons menée de la manière dont le transporteur "rétrocède" ses gains de temps aux chargeurs. Nous avons alors fait apparaître que, selon les propriétés des dérivées d'ordre deux des fonctions de coût et de recettes des transporteurs, ceux-ci pourront choisir de transmettre à leurs clients des gains de temps qui seront, selon les cas, inférieurs ou supérieurs aux diminutions des durées de déplacement. Au-delà de l'exemple des transporteurs, c'est l'ensemble du système économique ainsi décrit qui, en fonction des caractéristiques de ses coûts et des préférences des consommateurs sera dans une configuration soit d'accélération soit de décélération.

Le temps comme succession

Le dernier point est que le traitement des préférences des consommateurs nous a amené à nous départir du cadre d'analyse utilisé communément pour l'analyse de la valeur du temps en transport de voyageurs. Les paradigmes pré-sérpien et post-sérpien d'analyse des préférences sont basés sur la durée consacrée à chaque activité. Par contre, l'ordre de succession de ces périodes n'y apparaît pas. Quand on analyse les préférences des consommateurs pour une livraison précoce ou tardive, on est par contre amené à considérer explicitement la succession des périodes : l'ordre des moments où le consommateur est pourvu ou dépourvu du bien devient un élément central de l'analyse. Notre corpus nous amène ainsi à réintroduire dans l'analyse une propriété essentielle du temps, en le considérant comme une succession de périodes, et non comme une simple agrégation de périodes.

Paris, le 6 octobre 2005.

Table des matières

Sommaire	7
Liste des figures	9
Liste des tableaux	11
Liste des abréviations	13
Liste des notations	17
Introduction	23
1 Des interrogations multiples.....	23
2 Notre propos	25
3 L'importance des gains de temps dans l'évaluation de projet.....	25
4 Les recherches en cours.....	27
5 Organisation du document	29
Chapitre 1 : Pertinence et définition de la valeur du temps en transport de marchandises	33
1 La valeur du temps en transport de marchandises est peu connue et en tout cas moins bien connue qu'en transport de voyageurs	34
1.1 Des difficultés propres à l'analyse du transport de marchandises	34
1.2 Spécificité du temps dans le transport de marchandises	37
2 Peut-on donner une valeur au temps ?.....	42
2.1 L'analyse économique du temps	42
2.2 Définitions du temps.....	45
2.3 La valeur du temps : pour qui ? pourquoi ?	54
3 Gagner du temps ne sert à rien ?	62
3.1 Parfois diminuer le temps de déplacement ne sert à rien	63
3.2 Quelles évolutions du système logistique ?	68
4 Il n'y a pas une valeur du temps mais des valeurs du temps.....	69
4.1 Un gain de temps a des effets trop complexes pour qu'on puisse le valoriser par un chiffre unique	70
4.2 La valeur du temps, une moyenne ?.....	70
Conclusions.....	72
Partie I : L'état de l'art et l'état de la pratique	75
Chapitre 2 : L'approche par les coûts, de l'analyse à l'évaluation.....	77
Introduction.....	77
1 Les coûts de transport.....	78
1.1 Les coûts du temps pour les transporteurs	78
1.2 Le coût du temps pour les chargeurs.....	79
1.3 Conclusion sur les coûts liés aux durées de transport.....	86
2 Les coûts de déplacement.....	86
2.1 Eléments sur les coûts du temps en transport ferroviaire.....	87
2.2 Le coût de déplacement en transport routier.....	88
2.3 L'approche du COBA.....	89
2.4 L'approche par les coûts en France	93
2.5 La valeur du temps dans les autres pays européens	103
2.6 La pratique des organisations internationales, Banque Européenne d'Investissement et Banque Mondiale.....	106
Conclusions.....	108
Chapitre 3 : Valorisation des gains de temps en transport de marchandises, méthodes et résultats	111
1 Le paradigme de la maximisation de l'utilité stochastique.....	113
1.1 Présentation de la R.U.M.	113

1.2	La partie stochastique de l'utilité.....	121
1.3	Nature des alternatives : choix abstrait, choix d'itinéraire, choix modal... ..	124
2.	Les Préférences Révélées.....	129
	Approche agrégée.....	130
	L'approche désagrégée.....	132
	Limites des Préférences Révélées.....	132
3	Les Préférences Déclarées.....	133
3.1	Les méthodes de choix discrets.....	134
	La crédibilité des SP.....	137
3.2	Une autre approche SP : les prix de transfert.....	146
4	Les estimations.....	151
	Conclusion.....	157
Chapitre 4 : Compléments sur la mesure de la valeur du temps.....		159
1	Mode opératoire.....	159
1.1	Les alternatives proposées peuvent être "contextuelles", "adaptatives" ou encore "stratégiques" 160	
1.2	Les préférences peuvent être exprimées selon différentes modalités.....	161
2	La combinaison des données de Préférences Déclarées et Révélées.....	169
3	Comment mesurer la dispersion des valeurs du temps ?.....	175
3.1	Les méthodes.....	176
3.2	De quoi dépend la valeur du temps ?.....	183
	Conclusion.....	187
	Conclusion de la Partie I.....	189
Partie II : Contribution à une théorie sur l'utilisation du temps dans la production et le transport.....		191
Chapitre 5 : Le rôle des durées pour les transporteurs, les producteurs et les consommateurs.....		197
Introduction.....		197
1	Les coûts des transporteurs dépendent des durées.....	197
1.1	Limites d'une approche fondée sur une minimisation des coûts.....	198
1.2	Coûts de déplacement et coûts hors déplacement.....	200
1.3	Fonction de coût de production du transport $cpt(t)$: enveloppe des coûts de déplacement et des coûts hors déplacement.....	212
2	Les coûts des producteurs dépendent des durées.....	221
2.1	Coûts dépendant des durées de transport : un rappel.....	222
2.2	Coûts dépendant des durées de production.....	222
3	La satisfaction des consommateurs dépend des durées.....	231
3.1	Comment représenter les préférences des consommateurs en fonction des durées ?.....	231
3.2	Choix du consommateur pour une quantité donnée.....	234
3.3	Conclusion sur les consommateurs.....	240
	Conclusion.....	241
Chapitre 6 : Les effets d'un gain de temps.....		243
1	Analyse statique : arbitrage des producteurs et des transporteurs.....	244
1.1	Maximisation du profit par les producteurs.....	244
1.2	Maximisation du profit par les transporteurs.....	253
1.3	Equilibre concurrentiel du marché des transports.....	257
2	Effets d'une modification des durées minimales de déplacement.....	259
2.1	Effets des gains de temps pour les transporteurs.....	259
2.2	Effets sur les producteurs et les consommateurs.....	261
2.3	Discussion.....	264
2.4	Equilibre sur le marché des transports : un multiplicateur de gains de temps ?.....	265
3	Conclusions.....	268

Conclusion de la partie II	271
Trois sources de valorisation des gains de temps	271
Partie III : Mesures de la valeur du temps	275
3 Introduction de la partie III	277
Chapitre 7 : Peut-on mesurer la valeur du temps par la technique des prix hédoniques ?	279
Introduction	279
1 Présentation de l'approche hédonique	280
1.2 Pertinence de l'approche hédonique pour la valeur du temps en fret	280
1.3 Interprétation des résultats de la première étape et possibilité de réaliser la seconde étape	285
2 Une méthode peu appliquée et dont les utilisations les plus récentes n'ont pas abouti à des résultats concluants	287
3 Application numérique	290
3.1 Présentation des données	290
3.2 Résultats de la première étape	296
3.3 Peut-on appliquer la deuxième étape ?	298
Conclusion	300
Chapitre 8 : Une mesure de l'hétérogénéité des valeurs du temps des chargeurs sur la base de Préférences Déclarées	303
Introduction	303
1 Expliquer l'hétérogénéité	304
2 Représenter l'hétérogénéité	306
2.1 Mode opératoire	307
2.2 Quelle loi de distribution ?	310
3 Mesurer l'hétérogénéité : une application sur une enquête auprès des chargeurs	314
3.1 Présentation des données	314
3.2 Analyse exploratoire : segmentation et effet des termes d'interaction	317
3.3 Estimation du modèle Logit à coefficients stochastiques	322
3.4 Estimation des coefficients individuels	324
Conclusion	328
Expliquer l'hétérogénéité	328
Représenter l'hétérogénéité	328
Mesurer l'hétérogénéité	329
Conclusion générale	331
1. Un retour sur nos questionnements initiaux	331
L'objet	331
La mesure	333
La norme	334
Quelle valeur utiliser dans l'estimation ?	337
2. Quelles analyses complémentaires ?	338
Possibilité d'une analyse en équilibre général	338
Raffiner la distinction entre biens génériques et biens spécifiques	339
Analyser les préférences des consommateurs par rapport à la date de disponibilité des biens	340
La prise en compte des rythmes circadiens	340
3. Perspectives	340
Le rôle du temps dans la production	340
Une accélération du temps ?	341
Le temps comme succession	341
Table des matières	343
Texte original des citations traduites	371

Bibliographie

- Abdelwahab W., Sargious, M.**, 1992, *Modelling the demand for freight transport, a new approach*, Journal of Transport Economics and Policy, pp. 49-70.
- Aberle, G., Engel M.**, 1991, *Der Volkswirtschaftliche Nutzen des Strasgüterverkehrs - Analyse des theoretischen Erfassungsmöglichkeiten und erste quantitative Abschätzungen*, Studie im Auftrag der International Road Transport Union, Genève.
- Aberle, G., Engel M., Quinet E.**, 1993, *Les avantages sociaux du transport routier de marchandises à longue distance, enquête internationale mandatée par l'Union Routière Internationale*, IRU, Genève.
- Abraham, C.**, 2003, *À la recherche de la valeur du temps perdue - Réflexions sur quelques modèles d'affectation du trafic entre itinéraires ou modes de transport concurrents*, Transports, 418, pp. 80-88.
- Adkins, W. G., Ward, A. W., McFarland W. F.**, 1967, *Value of time savings of commercial vehicles*, Report 33, National co-operation highway research program.
- AIPCR**, 1999, *Méthodes d'évaluation économique des projets routiers dans les pays membres de l'AIPCR*.
- Allais, M.**, 1943, *A la recherche d'une discipline économique, Traité d'Economie Pure*.
- Allais, M.**, 1989, *L'économie des infrastructures de transport et les fondements du calcul économique*, Revue d'économie politique, 99^{ème} année, 2, pp.159 – 197.
- Allen, W. B.**, 1977, *The demand for freight transportation : a micro approach*, Transportation Research, 11, pp. 9-14.
- Allen, W.B., Baumel , C.P., Forkenbrock D.J. ,** 1994, *Expanding the set of efficiency gains of a highway investment : conceptual, methodological and practical issues*, Transportation Journal, Automne, pp. 39-47.
- Allen, W.B., Mahmoud, M. M., McNeil, D.**, 1985, *The importance of time in transit and reliability of transit time for shippers, receivers and carriers*, Transportation research B. 19B 5, pp. 447-456.
- Amaya, M., Ryan, M., San Miguel, F.**, 2002, *Do individuals adopt non-compensatory decision making heuristic ? Preliminary evidence for health-care*, Working Paper, Health Economics Research Unit, University of Aberdeen.
- Anupindi, R., Bassok, Y. ,** 1999, *Centralization of stocks: Retailers vs. manufacturer*, Management Science, 45, 2, pp. 178–191.
- Armstrong, P., Garrido R., Ortúzar J.d.D.**, 2001, *Confidence intervals to bound the value of time*, Transport Research E, 37, pp. 143-161.
- Arrow, K.**, 1963, *Social Choice and Individual Values*, John Willey, New-York.
- Aschauer, D.A.**, 1982, *Infrastructure, productivity, and economic growth: Fair dinkum ?*, in The Private Provision of Economic Infrastructure: Proceedings from the BIE Infrastructure Forum 1-2 June 1992, AGPS, BIE Occasional Paper 7, pp. 6-28, Canberra.
- Atkins, S. T. ,** 1983, *The value of travel time : an empirical study using route choice*, PTRC, 1983, transportation planning methodology., pp. 149-160.
- Austrroads**, 1997, *Value of Travel Time savings, Publication no AP -119/97*, Austrroads Incorporated, Sydney.
- Ayoun, Ph.**, 2000, *Club d'échanges marchandises*, Ministère de l'équipement.
- Bannister**, 1976, *The influence of habit formation on modal choice – a heuristic model*, Transportation, 7.
- Barre, R.**, 1950, *La période dans l'analyse économique, une approche de l'étude du temps*, Société d'édition de l'enseignement supérieur, 260 p., Paris, Thèse de doctorat.

-
- Barre, R. Teulon, F.**, 1970, *Economie politique*, PUF, réédité en 1997 (15ème édition).
- Bastin, F., C. Cirillo and P.L. Toint**, 2003, *Numerical Experiments with AMLET, a New Monte-Carlo Algorithm for Estimating Mixed Logit Models*, Congrès de l'IATBR.
- Bates, J. J.**, 1988, *Econometric issues in stated preferences analysis*, Journal of Transport Economics and Policy, pp. 59-69.
- Bates, J. J.**, 2003, *Economic evaluation and transport modelling : theory and practice*, Resource Paper, 10ème conférence internationale de l'International Association for Transport Behavior Research., 74 p.
- Bates, J.J.**, 1984, *Values of Time from Stated Preferences Data*, Proceedings of seminar H, PTRC annual meeting, Brighton.
- Bates, J.J., Roberts M.**, 1983, *Recent experience with model fitted to SP data*, PTRC summer annual meeting, Paper number 8, PTRC, Brighton.
- Bates, J.J., Terzis, G.**, 1992, *Surveys involving adaptive stated preferences techniques*, In A. Westlake et al (eds) Survey and statistical computing., Elsevier Science, Oxford.
- Bath, C.**, 2003, *Econometric choice formulations : alternative model structures, Estimation techniques, and emerging directions*, 10ème conférence IATBR, Lucerne, 10-15 août 2003.
- Batier, M. Blanchard, C., Calzada, C., Guilbault, M., Houée, M.**, 1999, *Une nouvelle génération d'"enquêtes chargeurs"*, Notes de synthèse du SES, mai- juin 1999.
- Baumol, W.J., Vinod, H. D.**, 1970, *An inventory Theory Model of freight Transport Demand*, Management science, 16, pp. 413-421.
- Becker, G.**, 1965, *A theory of the allocation of time*, Economic Journal., sept.
- Beesley, M. E.**, 1965, *The value of time spent in travelling some new evidence*, Economica, **32**, may.
- Beesley, M. E.**, 1978, *Values of time, modal split and forecasting*, Croom Helm.
- Belsley, D., Kuh E., Welsch, R.**, 1983, *Regression diagnostics*, Willey, New-York.
- Ben-Akiva M.**, 1988, *Application of disaggregate modelling methods to intercity freight*, seminar on freight demand, ministry of transport tourism and communications, Madrid.
- Ben-Akiva M., Bolduc, D., Bradley, M.**, 1993, *Estimation of travel choice models with randomly distributed value of time*, Transportation Research Records, 1413, pp. 88-97.
- Ben-Akiva M., Gopinath, D.A.**, 1996, *Estimation of randomly distributed value of time - first pretation*, PTRC- value of time seminar, PTRC, pp. 485-495, Easthampstead.
- Ben-Akiva M., Lerman, R. S.**, 1985, *Discrete choice analysis*, The MIT press, 373 p., Cambridge, Massachussetts.
- Ben-Akiva M., Morikawa, T.**, 1990a, *Estimation of switching models from TP and Stated intentions*, Transportation Research A, 26A, 6, pp. 485-495.
- Ben-Akiva M., Morikawa, T.**, 1990b, *Estimation of travel demand models from multiple data sources*, Transportation and Traffic Theory, M. Koshi Eds, Elsevier, pp. 461-476, proc. of the 11th ISTTT.
- Benjamin, J., Sen , L.**, 1982, *Comparison of the predictive ability of four multi-attribute approaches to attitudinal measurement*, Transportation Research Record, 890, pp. 1-6.
- Bergkvist, E.**, 2001, *Estimating the value of time and forecasting transport choice in road freight with a non linear profit specification, the logit model versus neural networks*, Research paper, Umea University.
- Bergkvist, E.**, 2001, *Freight Transportation: Valuation of Time and Forecasting of Flows*, PhD thesis.
- Bergkvist, E., Westin, L.**, 1996, *Regional valuation of infrastructure improvements. The case of Swedish road freight*.
-

- Bergkvist, E., Westin, L.**, 2000, *Regional valuation of infrastructure and transport attributes in Swedish road freight*, Umeå economics studies n°546.
- Bernardet, M.**, 1997, *Le Transport routier de marchandises*, Economica, 323 p., Paris.
- Bestufs, (Best Urban Freight Solutions).**, 2001, *Logistique urbaine en Europe - quelques éléments statistiques et expériences de régulation dans des villes européennes*.
- Beuthe, M. Bouffieux, ,** à paraître, *Analyzing freight transports' qualitative attributes from stated orders of preference*.
- Beuthe, M., Bouffieux, Ch., Maeyer J de, Santamaria, G., Vandresse, M. Vandaele, E. ,** 2003, *A multi criteria analysis of stated preferences among freight transport alternatives*, European Regional Science Association congress, Jyvaskyla, first draft.
- Beuthe, M., Laffineuse, D, Sayez A.**, 1994, *La fonction de coût de transport routier de marchandises sur longue distance en France*, Programme d'impulsion "transport et mobilité" de la programmation de la Politique Scientifique., 13 p., Faculté universitaire Catholique de Mons.
- Bhat, C.R.**, 1995, *A Heteroskedastic Extreme Value Model of Intercity Travel Mode Choice*, Transportation Research, B 29, 6, pp. 471-483.
- Blauwens, G. Van de Voorde E.**, 1988, *The valuation of Time savings in commodity transport*, International Journal of Transport Economics, XV, 1, fév. 88.
- Blayac, T., Causse A. ,** 2001, *Value of travel time : a theoretical legitimization of some non linear representative utility in discrete choice models*, Transportation Research, 1413, pp. 88-97.
- Blayac, T., Causse, A.**, 1999, *La valeur du temps de transport : à la recherche d'un compromis entre agrégation et variabilité*, Note de synthèse du Service Economique et Statistique du Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, n°124, Juillet-Août.
- Bolis, S., Maggi, R.**, 1999, *Modelling the transport and logistic choice of a shipper*, BBL/OFCL, Bern, Projet référencé B4/M8 de l'office fédéral des Transports.
- Bolis, S., Maggi, R.**, 2002, *Stated Preferences - Evidences on shipper's transport and logistics choice*, in Danielis, R. (ed.) Freight transport demand and stated preferences experiments, F. Angeli, Milan.
- Bonnieux, F., Desaignes, B. ,** 1998, *Economie et politiques de l'environnement*, Précis, Dalloz.
- Bonsall, P. ,** 1983, *Transfer price data, its use and abuse*, PTRC, summer annual meeting, proceedings of seminar M., Brighton.
- Bonsall, P. ,** 1985, *Transfer price data, its definition, collection and use*, New survey methods in transport, VNU science Press, E.S. Ampt, A.J. Richardson and W. Wrog (eds), Utrecht.
- Bos, H.C., Koyck, L.M.**, 1961, *The appraisal of road construction project*, Review of Economics and Statistics, fév. 88, Vol. XLIII.
- Box, G. E. P., Cox D.R. ,** 1964, *Analysis of transformations*, Journal of Royal statistical Society, Series B, 26, pp. 211-243.
- Boyer, K. D.**, 1977, *Minimum rate regulation, Modal split sitivities and the Railroad problem*, Journal of Political Economy, 85, 3, juin, pp. 493-512.
- Bradley, M.A.**, 1988, *Realism and adaptation in designing hypothetical travel choice concepts*, Journal of Transport Economics and Policy, January.
- Bradley, M.A., Daly, A.J.**, 1991, *Estimation of Logit choice models using mixed Stated Preference and Revealed Preferences information*, 6th international conference on travel behavior, pp. 116-133, Québec, 22- 24 may 91.
- Bradley, M.A., Daly, A.J.**, 1993, *New analysis in SP research*, PTRC summer annual meeting., Hague Consulting Group Netherlands.
- Bradley, M.A., Daly, A.J.**, 1994, *Use of the logit scaling approach to test for rank order and fatigue effects in SP data*, Transportation, 21, pp. 167-184.

- Braeutigam R.R., Daughety A.F., Turnquist, M.A.**, 1982, *The estimation of a hybrid cost function for a railroad firm*, Review of Economic Statistics, Automne, 64, pp. 394-404.
- Bredeloup, E. Costa, G. et al** , 1989, *Pratiques de transport des industries et de commerce de gros, résultats de l'analyse de 5000 chaînes de transport*, Rapport INRETS n°99.
- Broecker, J.**, 2002, *Passenger Flows in CGE Models for Transport Project Evaluation*, Congrès de l'European Regional Science Association, Jyväskylä, Finlande.
- Brooks, R.D., Fry, T.R., Harris, M.N.**, 1997, *The Size and Power Properties of Combining Choice Set partition Tests for the IIA Property in the Logit Model*, Journal of Quantitative Economics, 13, 2, pp. 45-61.
- Broom, D., Lowe, S. R., Gunn, H., Jones P.M.**, 1983, *Estimating values of travel time : an experimental comparison of Transfer Price Methods with the Revealed Preference approach*, PTRC University of Sussex.
- Brown, J.N., Rosen, H.S.**, 1982, *On the estimation of structural hedonic price models*, Econometrica, 50, pp. 765-768.
- Browstone, D., Small, K. A.**, 2003, *Valuing Time and Reliability - Assessing the evidence from road pricing demonstration*, Irvine, Californie.
- Bruzelius, N.**, 1979, *The value of travel time : theory and measurement* , Croom Helm, London.
- BTCE**, 1996, *Economics effects of a Brisbane-Melbourne Inland Railway*, Working paper 18., Canberra.
- Buchanan, M., Lewis, K.**, 1981, *Policy Appraisal and Decision making for bus operations. The Busmodel approach*, WCTR, Londres 1981.
- Bundesminister fuer Verkher**, 1993, *Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkherwegeinvestitionen*, Schriftenreihe des BMV, Heft 72, Bonn.
- Bureau of Transport and Regional Economics (BTRE)**, 1999, *Facts And Furphies in Benefit cost analysis : transport*, report n 100.
- Burmeister, A.**, 2000, *Propositions pour une typologie des produits transportés pour analyser les évolutions en matière d'organisation des transports et de la logistique*, Centre de Recherche en Socio-Economie des Transports et de l'Aménagement (TRACES), 126 p., PREDIT « Systèmes d'Information » ; Convention DRAST n° 98 MT 87.
- Cachon, F., Harker, P.T.**, 2002, *Competition and outsourcing with scale economics*.
- Calzada, Ch.**, 1998, *Survol des expériences françaises et étrangères en matière d'enquêtes de préférences marchandises*, Club Modélisation marchandises, juin 98, SES, La Défense.
- Cantarella, G.E., Fedele, V.**, 2003, *Fuzzy Utility Theory of analysing Discrete Choice Behaviour*, 4th international Symposium on uncertainty Modelling and Analysis (ISUMA'03).
- Caralp, M.F., Costa, G., Libertalis, B.**, 1970, *La valeur du temps dans les études de transport*, Mémoire de DES sciences économiques.
- Cassel, E., Mendelsohn, R.**, 1985, *The choice of functional forms for hedonic price equations: comment*, Journal of Urban Economics, 18, Sept, pp. 135-142.
- Causse, A.**, 1999, *La valeur du temps de transport : de l'usage des théories microéconomiques de l'affectation du temps dans les modèles désagrégés aléatoires de transport - prévisions de trafic, évaluation de projet*, Université de Montpellier I, Faculté de sciences économiques., Montpellier, sous la direction de Daniel Serra.
- Caves, D. W., Christensen L. R., Swanson J. A.**, 1981, *Productivity growth, Scale economies and capacity utilisation in U.S. railroads, 1955-1994*, The American Economic Review, Déc., pp. 994-1002.
- Caves, D. W., Christensen L. R., Tretehoway**, 1984, *Economies of densities versus economies of scale: why trunk and local service Airlines costs differ*, Rand Journal of Economics, 15, 4, Déc., pp. 471-489.

- CERTU, 2003, *Modélisation des déplacements urbains de voyageurs*, CERTU éd, 242 p., Lyon.
- Chao, J. S., Graves, S. C., 1998, *Reducing flow time in aircraft manufacturing*, Production and Operations Management, spring.
- Chapman, R.G., 1984, *An approach to estimating Logit models of a single decision maker's choice behaviour*, Advances in Consumer Research, 11, pp. 656-661.
- Chapman, R.G., Stealin, R., 1982, *Exploiting rank ordered choice sets data within the stochastic utility model*, Journal of Marketing Research, 19, pp. 281-229.
- Cherchi, E., Ortúzar, J., 2003, *Alternative specific variables in non-linear utilities : influence of correlation homoscedasticity and taste variations*, IATBR congress, Lucerne.
- Chiang Y., Roberts P.O., Ben Akiva M., 1981, *A short run freight demand model : the joint choice mode and shipment size*, 6th meeting of Transportation Research Board.
- Chipman, J., Moore, J.C., 1978, *The new Welfare economics 1939-74*, International Economics Review, 19, pp. 547-584.
- Chui, M. K. McFarland, W. F. , 1985, *Value of Travel Time: New Estimates Developed Using a Speed-Choice Model*, Report 396-2F, Texas Institute of transport.
- Cirillo, C, Axhausen, K.W., 2004, *Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary*, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 212.
- Cirillo, C., Daly, A., Lindveld K., 1996, *Eliminating bias due to repeated measurements problem in SP data*, 6th international conference on travel behavior.
- Clark, J. , 1923, *Studies in the economics of overhead costs*, The university of Chicago Press.
- Coburn, R.M., Besley M.E., Reynolds, D.J. , , 1960, *The London Birmingham motorway*, Road research laboratory technical paper n° 46.
- Collectif, 1998, *Evaluer et décider dans les transports*, Revue Metropolis, n°106/107, 132 p.
- Commissariat Général au Plan, Groupe présidé par M. Boiteux, 1994, *Transports, pour un meilleur choix des investissements*, La documentation française, Paris, 01/11/1994.
- Commissariat Général au Plan, 2001, *Transports : choix des investissements et coût des nuisances*, La Documentation française, juin 2001, 325 p., Rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux.
- Commission européenne, 2001, *Livre blanc - La politique européenne des transports à l'horizon 2010*.
- Commission européenne, Direction générale des transports, Commission of the European communities, directorate general for transport, 1994, *Concerted action 1.1 Cost Benefit and multi criteria analysis for new road construction, final report*, doc euret 385/94, final report R&D unit DGXII.
- Commission européenne, Direction générale des transports, Commission of the European communities, directorate general for transport, 1995, *Inventory of cost benefit analysis and multicriteria analysis methods in use for evaluation of railway investment*, doc euret 446/95, 117 p.
- Copley, Bates, J., 1988, *Using the priority Evaluator to measure travellers needs*, Oxford conference on travel and transportation, Oxford.
- Court, A.T. , 1939, *Hedonic price indexes with automotive examples*, in : The dynamics of automobile demand, The General Motors Corporation, pp. 99-117, New-York.
- Couture, M.R., Doley T., 1981, *Analysing traveller attitudes to resolve intended and actual use of a new transit service*, Transportation Research Board Record. 194, Washington.
- Cox, J.B., 1992, *The macroeconomics of road investment*, Proceedings of the 16th Australian road research Board conference, vol. 1, Australian road research Board Ltd, pp. 25-54, Melbourne.

- Crask, M. R., Fox R.J.**, 1987, *An exploration of the interval properties of three commonly used marketing research scales : a magnitude estimation approach*, Journal of the Market Research Society, 29, 3, pp. 317-339.
- Cropper, M. L., Leland B. D., Kishor, N., McConnel K.E.**, 1993, *Valuing product attributes using single market data : a comparison of hedonic and discrete choice approaches*, The Review of Economics and Statistics, pp. 225-232.
- Cropper, M. L., Leland B. D., McConnel K.E.**, 1988, *On the choice of function form for hedonic price functions*, The Review of Economics and Statistics, 70, 4, pp. 668-675.
- Cummings, R. G. et al**, 1986, *Valuing Environmental Goods: The Contingent Valuation Method*, Totowa, NJ: Rowman and Allanheld.
- Cunningham, M.T. & Kettlewood, K.** , 1976, *Source Loyalty in the Freight Transport Market*, European Journal of Marketing, 10, 1, pp. 60-78.
- Cunningham, M.T., Kettlewood, K.**, 1975, *The influence of the image of suppliers on buyer behaviour in the freight transport market*, International Journal of Physical Distribution., 5, 5, pp. 238-252.
- Currie, J.M., Murphy, J. A., Schmitz, A.**, 1971, *The concept of economic surplus*, The Economic Journal, pp. 741- 799.
- Currie, M., Steedman, I.** , 1990, *Wrestling with time : problems in economic theory*, Manchester University Press, 261 p., Manchester.
- Daly, A.**, 1996, *Estimating Values of travel time*, Course on value of time, Easthamsptead park, Oct 96.
- Daly, A. Zachary, S.**, 1978, *Improved multiple choice models*, in D. Hensher and M. Dalvi, eds., *Determinants of Travel Choice.*, pp. 335-357, Saxon House, Sussex.
- Danielis, R.**, 2002, *Freight transport demand and stated preference experiments*, Franco Angeli, Milan.
- Danielis, R., Marcucci, E., Zotti, J.**, à paraître, *Attribute cut-offs in freight service selection*.
- Danielis, R., Rotaris, L.**, 1999, *Analysing freight transport demand using Stated Preference data, a survey*, Trasporti Europei, 13, pp. 30-38.
- Danielis, R., Rotaris, L.**, 2002, *Shippers preferences for freight transport services : a conjoint analysis experiment for an Italian region*, Trasporti Europei, 22, Trieste.
- Danielis, R., Rotaris, L.**, 2003, *Le preferenze degli utenti del servizio di trasporto merci : i risultati di un esperimento di conjoint analysis condotto in Friuli - Venezia Giulia*, in trasporto merci, logistica e scelta modale, i presupposti economici del riequilibrio modale in Italia, a cura di Giacomo Borruso, Giancarlo Polidori., Franco Angeli, pp. 145-174, Milan.
- d'Aspremont, C., Gevers, L.**, 1977, *Equity and the informational Basis of Collective choice*, Review of Economic Studies, 44, 2, juin, pp. 199-209.
- Daughety, A.F.**, 1979, *Freight Transport demand revisited : a micro economic view of multi modal multi characteristic service uncertainty and the demand for freight transport*, Transportation Research B., 13, pp. 281-288.
- Daughety, A.F., Nelson F.** , 1987, *An econometric Analysis of Changes in the cost and production structure of the trucking industry*, The Review of Economics and Statistics, Juillet, pp. 67-75.
- Davidson, J.D.**, 1973, *Forecasting traffic on STOL*, Operations Research Quarterly, 24, pp. 561-569., Bibliography note: Includes index.
- Davies, A. L., Gray,** , 1980, *Who buys international freight services ? a survey of UK shipping managers*, McLean Hunter.
- Davis, D. D., Holt, C. A.**, 1993, *Experimental Economics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Dawes, R. M., Corrigan B.**, 1974, *Linear models in decision making*, Psychological Bulletin, 81, pp. 95-106.

- de Jong, G. C.**, 1996, *Freight and coach value of time studies*, PTRC- value of time seminar, PTRC, Easthampstead.
- de Jong, G. C.**, 2000, *Value of freight travel-time savings*, in Hensher, D.A and Button, K.J. (eds) *Handbook of Transport Modelling*, Pergamon.
- de Jong, G. C., Gommers M.A.**, 1992, *Time valuation in Freight Transport, Methods and results*, Hague Consulting Group Netherlands / PTRC London UK, également prêté à la sixième conférence mondial en recherche sur les transports, Lyon 1992.
- de Jong, G. C., Velay, C., Houée, M.**, 2001, *A joint SP/RP Model of freight shipments from the region Nord-Pas de Calais*.
- de Jong, G. C., Vyvere, Y. van de , Inwood, H.**, 1995, *The value of time in freight transport : a cross country comparison of outcomes*, WCTR Sydney.
- de Jong, G., Bakker S., Pieters, M.**, 2004, *Hoofdonderzoek naar de reistijdwaardering in het vervoer van goederen over de weg*, RAND Corporation in co-operation with DEA & Veldkamp/NIPO, Leiden and Rotterdam, in charge of AVV.
- de Jong, G., Velay, C., Houée, M.**, 2001, *A Joint SP/RP Model of Freight Shipments from the Region Nord-Pas de Calais*, European Transport Conference.
- de Maeyer, J., Pauwels, T.**, 2003, *A literature review on the role of quality service attributes and their monetary evaluation in freight demand models*.
- de Salvo, J.S.**, 1969, *A process function for rail linehaul operations*, *Journal of Transport Economics and Policy*, 3, janv, pp. 3-27.
- de Serpa, A. C.**, 1971, *A theory of the economics of time*, *Economic Journal*, 81, 324, déc.
- Debreu, G.**, 1959, *Theory of value*, Wiley, New-York.
- Denant-Boèmont, L., Hammiche, S.**, 2005, *Impact du péage et de l'information sur la concurrence des infrastructures de transport : une étude expérimentale*, Journée d'étude transports, université de Cergy Pontoise. Mai 2005.
- Dertouzos, M., Lester, R., Solow, R.**, 1989, *Made in America*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Destut de Tracy**, 1883, *Traité d'économie politique*.
- DETR (Department of the environment, Transport and the regions)**, 2000, *Guidance on the methodology for multimodal studies (GOMMS)*, 36586.
- DETR (Department of Environment Transport and the Regions)**, 1996, *The Coba 9 Manual*, Sept. 96.
- DETR (Department of Environment Transport and the Regions)**, 1998, *Appraisal Summary Tables*, Tableaux de synthèse réalisés en application du cobra manuel pour les projets routiers étudiés par le ministère britannique des transports, de l'environnement et des régions. Les tables correspondent aux versions disponibles au 28 juillet 1998 et correspondent à des mises à jour aux dates suivantes : 3, 22, 24, 27 juillet 1998.
- DETR (Department of Environment Transport and the Regions)**, 2001, *Transport Economics Note*.
- DETR (Department of Environment Transport and the Regions)**, 1996b, *Design Manual for Road and Bridges, Volume 13 Economic assessment of road schemes, section 2 : Highway Economic Note N° 2*.
- DETR (Department of Environment Transport and the Regions)**, 1996c, *Design Manual for Road and Bridges, Volume 13 Economic assessment of road schemes, section 1 : COBA Manual, part 2 : the valuation of costs and benefits*.
- Direction des routes**, 1970, *Calculs de rentabilité appliqués aux investissements routiers en rase campagne. Circulaire du 20 janvier et manuel d'application du 25 juin*.
- Direction des routes**, 1980, *Circulaire de mars 1980 sur les investissements routiers*.

- Direction des routes**, 1986, *Instruction de mars 1986*, Bulletin officiel du ministère, fascicule spécial n°86-11 bis.
- Direction des routes**, 1995, *Instruction du 28 juillet 1995*.
- Direction des routes**, 2004, *Instruction-cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport*.
- Direction des routes, (Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement.)**, 1998, *Instruction ministérielle : méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne*, circulaire n° 98 - 99 du 20 oct. 1998.
- Domencich, T., McFadden, D.**, 1975, *Urban travel demand analysis*, Elsevier, New-York.
- Dong, X., Koppelman, F.S.**, 2003, *Mass Point Mixed Logit Model: Development and Application*, 10ème congrès IATBR, Lucerne.
- Doyat, L.**, 1846, *Chemins de Fer ; bases à adopter pour les tarifs. Extrait d'un rapport*, Annales des Ponts et Chaussées (1), pp. 129-145.
- Drèze, J., Stern. N.**, 1990, *Policy reform, shadow prices and market prices*, Journal of Public Economics, 42, pp. 1-45.
- Drèze, J., Stern. N.**, 1987, *The theory of cost-benefit analysis*, In Handbook of public economics, ed. A. Auerbach and M. Feldstein, Amsterdam: North-Holland.
- Duesenberry, J.**, 1952, *Income, Saving, and the Theory of Consumer Behavior*, Cambridge, MA: Harvard U. Press.
- Dupuit, J.**, 1933, *De l'utilité et de sa mesure. Écrits choisis et republiés par Mario de Bernardi*, 228 pp., Turin, Paris.
- Ellingsen, T.**, 1994, *Cardinal utility: a history of hedonimetry*, In Allais et Hagen, Cardinalism, pp. 105-165.
- Epple, D.**, 1984, *Closed form solutions for a class of hedonic equilibrium models*, Pittsburgh, Working paper, Carnegie Mellon University, avril 1984.
- Epple, D.**, 1987, *Hedonic prices and implicit markets : estimating demand and supply functions for differentiated products*, Journal of Political Economy, 95, pp.59-80.
- Estève, J.**, 1996, *The economic rate of return of road projects and the value of time for trucks*, Université Paris XII, Créteil, avec R. Prud'homme (non publié).
- Etner, F.**, 1987, *Histoire du calcul économique en France*, Economica, 302 p.
- European Logistics Consultants Distribution Cost Data Base**, 1992.
- Evans, ,** 1972, *On the theory of the valuation and allocation of time*, Scottish Journal of Political Economy, 19, pp. 1-17.
- F.D.F. Management**, 1994, *Strategic Planning investigation on the Scores by Transport Corridor*, Report prepared for Vicroads, Kew (Victoria).
- Fechner ,**, 1860, *Elemente des Psychophysik*, Breitkopf und Härtel), Leipzig.
- Federal Transit Administration**, 1997, *Technical Guidance on Section 5309 New Starts Criteria*, September 1997.
- Fédération Nationale des Transports Routiers**, non daté, *Etude de coût de revient Transport de marchandises diverses à Grande Distance*, 18 p., Paris.
- Foa, B.**, 1928, *Di alcune influenze del tempo sul valore*, Milan.
- Fosgerau, M.**, 1996, *Freight traffic on the Storebealt fixed link*, PTRC London.
- Fowkes, A. S.**, 1998, *The development of Stated Preference Techniques in Transport Planning*, ITS, working paper 479.
- Fowkes, A. S., Firmin, P.E., Witheing, A.E., Tweddle, G.**, 2001, *Freight road user valuations of three aspects of delay*, Seminar on travel time variability (DTLR), ITS, Leeds.

- Fowkes, A. S., Tweddle, G.,** 1988, *A computer guided stated preference experiment for freight mode choice*, Proceedings of seminar D, PTRC, pp. 295-305, London.
- Fowkes, A. S., Tweddle, G.,** 1997, *Validation of stated preference forecasting : a case study involving anglo continental freight*, Proceedings of seminar F, European Transport Forum, pp. 173-186, London.
- Fowkes, A. S., Wardman, M.,** 1988b, *Stated Preferences Methods*, Journal of Transport Economics and Policy, 22, 1.
- Fowkes, A.S. ,** 1992, *How reliable is stated preference*, Working paper 377, ITS, Leeds.
- Fowkes, A.S., ,** 1996, *A justification for awarding all time savings and losses, both small and large, equal unit value in scheme evaluation*, PTRC- value of time seminar, Easthampstead.
- Fowkes, A.S., Nash, C.A., Tweddle, G. ,** 1989, *Valuing the Attributes of Freight Transport Quality: Results of the Stated Preference Survey*, Working paper 276, University of Leeds, Institute for Transport Studies, Leeds.
- Fowkes, A.S., Wardman, M.,** 1988c, *The design of stated preference travel choice experiments with particular regard to inter personal taste variations*, Journal of Transport Economics and Policy, 32, 1, pp. 27-44.
- Fowkes, T., Shinghal, N. ,** 2002, *The Leeds Adaptive Stated Preference Methodology*, in Danielis, R. (ed.) Freight Transport Demand and Stated Preference Experiments, F. Angeli, Milan.
- Fowkes, A. S., Firmin, P. E., Tweddle, G. et al.,** 2004, *How highly does the freight transport industry value journey time reliability--and for what reasons ?*, International Journal of Logistics, 7, 1, mars, pp. 33-43.
- Frederick, S. Loewenstein, G. O'Donoghue, T.,** 2002, *Time Discounting and Time Preference: A Critical Review*, Journal of Economic Literature, XL, juin, pp. 351-401.
- Freeman III, A.M.,** 1979, *Hedonic prices, property values and measuring environmental benefits : a survey of the issues*, Scandinavian Journal of Economics, 81, pp. 158-173.
- Freeman III, A.M.,** 1979b, *The benefits of environmental improvement : theory and practice*, John Hopkins Press (for resources for the future).
- Freight Leader Club,** 2000, *Il valore del tempo nel trasporto stradale delle merci - il carico e la scarico*, Quaderni, 13, oct.
- Fridstrom, L., Madslie, A.,** 1994, *Own account or hire freight*, International Conference on Travel Behavior, Valle Nevado, Santiago de Chile, 12-16 Juin 94.
- Fridstrom, L., Madslie, A.,** 1995, *Engrosbedrifters valg av transportløsning*, transportøkonomist institutt, Oslo, TOI rapport 299/1995.
- Friedlander A.F., Bruce S. ,** 1985, *Augmentation effect and technical change in the regulated trucking Industry, 1974-1979*, Analytical Studies in Transport Economics and Policy, volume 25 # 2., Cambridge.
- Frisch, R.,** 1965, *Theory of production*, D. Reidel publishing company, Dordrecht-Holland.
- Fry, T.R., Harris, M.N.,** 1998, *Testing for Independence of Irrelevant Alternatives: Some Empirical Results*, Sociological Methods and Research, 26, 3, pp. 401-424.
- FSV, Forschungsgesellschaft fuer Stras une Verkherewe, 1997, Empfehlungen fuer Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Stras (EWS).**
- Gagné, R.,** 1990, *On the relevant elasticity estimates for cost structure : Analysis of the trucking Industry*, The Review of Economics and Statistics, 72, 1, June, pp. 160-164.
- Garisson, R.,** 2005, *The Austrian school capital based macro economics*, in Modern macro economics : its origins development and current state., Aldershot : Edward Elgar.
- Gaudry M. J. I., Jara-Diaz, S.R., Ortúzar J. de D.,** 1989, *Value of time sensitivity to model specification*, Transportation Research, B., 23, 2, pp. 151-158.

- Georgescu - Roegen, N.**, 1936, *The pure theory of consumers behaviour*, Quarterly Journal of Economics, 1.
- Georgescu - Roegen, N.**, 1971, *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Gillen, D.W., Oum T.H.**, 1983, *Cost structures of the Canadian airline industry and regulatory intervention*, Canadian Transport Commission, research seminar series, volume 9, spring, pp. 1-50.
- Gillen, D.W., Oum T.H.**, 1984, *A study of Canadian Motor Coach industry*, Canadian Journal of Economics, 17, 3, mai, pp. 381-397.
- Gillen, D.W., Oum T.H., Tretheway, M.W.**, 1985, *Airline, cost and performance : implications for public and Industry policies*, Centre for transportation studies, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Gillen, D.W., Oum T.H., Tretheway, M.W.**, 1987, *Identifying and measuring the impacts of government ownership and regulation on Airline Performance Economic Council of Canada, Discussion Paper n° 326*.
- Goldratt, A., Fox R., York, NY.**, 1986, *The Goal*, Rev. Edition, North River Press, Croton-on-Hudson.
- Gonzales**, 1985, *Combining survey and aggregate data for model estimation*, PhD, MIT.
- Goodwin**, 1977, *Habit and hysteresis in mode choice*, Urban studies, 14, pp. 95-98.
- Gorman, W. M.**, 1980, *A possible procedure for analysing quality differentials in egg market*, Review of Economic Studies, 47, pp. 843-856.
- Gouvernal, E., Hanappe, P.**, 1995, *La formation des prix dans le transport de marchandises*, INRETS, 60 p., Arcueil, n° 195.
- Grand, L.**, 1997, *Les relations de sous-traitance dans le secteur des transports routiers de marchandises*, 373 p., Thèse de doctorat, Université Lumière - Lyon 2.
- Gray, B.**, 1982, *Behavioural approaches to freight transport modal choices*, Transport Reviews, 2, 2, pp. 161-184.
- Green, P., Srivasanan, V.**, 1978, *Conjoint analysis in consumer research : issue and outlook*, Journal of Consumer Research, 5, 5, pp. 103-123.
- Greene, W. H.**, 1997, *Econometric Analysis (3rd edition)*, Prentice Hall, New Jersey.
- Greene, W.H., Hensher D.A.**, 2003a, *The Mixed Logit Model: The State of Practice*, Transportation, 30, 2, pp. 133-76.
- Greene, W.H., Hensher D.A.**, 2003b, *A Latent Class Model for Discrete Choice Analysis: Contrasts with Mixed Logit*, Transportation Research: Part B: Methodological, 37, 8, sept., pp. 681-98.
- Griffin, J.M.**, 1972, *The Process Analysis Alternative to Statistical Cost Functions: An Application to Petroleum Refining*, American Economic Association, 62, 1, pp. 45-56.
- Griliches, Z.**, 1971, *Price Indexes and quality change*, Harvard University Press.
- Guilbault M., Piozin F., Rizet, C.**, 2000, *Préparation d'une nouvelle enquête auprès des chargeurs, résultats de l'enquête test Nord-Pas-de-Calais*, INRETS septembre 2000.
- Gujarati, D.**, 1988, *Basic econometrics*, 3rd edition New York McGraw Hill 1995.
- Gunn, H. F.**, 1981, *Value of time estimation*, Working paper 157, Institute for Transport Studies., Leeds.
- Gunn, H. F.**, 1984, *An analysis of transfer price data*, Proceedings of the twelfth PTRC summer annual meeting, University of Sussex, Brighton.
- Gwilliam, K., Mackie, P.J.**, 1975, *Economic and transport policy*, G. Allen & Unwin, 390 p., London.
- Gwilliam, K.**, 1997, *The value of time in economic evaluation of transports projects, lessons from recent projects*, The world bank, Transport NO. OT-5

- Hague Consulting Group**, 1995, *Value of time in the UK*.
- Hague Consulting Group**, 1998, *Economic cost of barriers to road transport*, Etude pour l'IRU.
- Halvorsen, R., Pollakowski, H. O.**, 1981, *Choice of functional form for hedonic price function*, Journal of urban economics, 10, pp. 37-49.
- Hammiche, S.**, 1997, *Cohérence du calcul économique public. Le cas de l'autoroute ferroviaire*, Thèse, 440 p., Lyon.
- Haning, McFarland**, 1963, *Value of time saved to commercial motor vehicles through the use of improved highways*, Bulletin 23 – Texas transport institute.
- Hanley, N., Mac Millan, D., Wright R., Bullock, C. Simpson, I. Parsisson, D. Crabtree, B. ,** 1998, *Contingent valuation vs. choice experiments: estimating the benefits of environmentally sensitive areas in Scotland*, Journal of agricultural economics, 52, 1.
- Harmatuck, D.**, 1991, *Economies of scale and scope in the motor carrier industry*, Journal of Transport Economics and Policy 25, pp. 135-151.
- Harmatuck, D. ,** 1981, *A motor carrier joint cost function*, Journal of Transport Economics and Policy, 15, 2, mai, pp. 135-153.
- Harrison, A.J. ,** 1969, *The value of time savings to commercial vehicles*, Highway economic unit, department environment, research note n° 5.
- Harrison, D.J., Rubinfeld D.L.**, 1978, *Hedonic housing prices and the demand for clean air*, Journal of Environmental Economics and Management.
- Hartgen, D.T.**, 1972, *Forecasting remote park and wide transit usage, preliminary results report 39*, Planning and research bureau, NYS DOT, Albany.
- Hausmann, J. A., McFadden, D.**, 1984, *Specification tests for the multinomial logit model*, Econometrica, 52, sept., pp. 1219-40.
- Hausmann, J. A., Ruud, P.A.**, 1987, *Specifying and testing econometrics models for Rank ordered data*, Journal of Econometrics, 34, pp. 83-104.
- Hayes R., Wheelwright, S., Clark K.**, 1988, *Dynamic Manufacturing: Creating the Learning Organization*, The Free Press, New York, NY.
- Heckman, J., Singer, B.**, 1984, *Econometric duration analysis*, Journal of Econometrics, 24, pp. 63-132.
- Heggie, I. G. ,** 1983, *Valuing Savings in Non working travel time : the empirical dilemma*, Transportation Research, 17A, 1, pp. 13-23.
- Hendrickson, McNeil ,** 1984, *Estimation of OD matrices with constrained regression*, Transportation Research Record, 976, pp. 25-32.
- Henry, F.**, 1982, *Multivariate analysis and ordinal data*, American Sociological Review, 47, pp. 299-304.
- Hensher, D. A. , Truong, T.P.**, 1983, *Valuation of travel time savings from Revealed Preferences and a direct experimental approach*, Research, 269, School of economic studies Macquarie, Australia.
- Hensher, D. A.**, 1976, *Review of studies leading to existing values of travel time*, TRR n°587, Washington.
- Hensher, D. A.**, 1976, *Valuation of commuter travel time savings : an alternative procedure*, Hengie I. G. Modal choice and the value of time, Clarendon Press, pp. 103-131, Oxford.
- Hensher, D. A.**, 1977, *Value of business travel time*, Pergamon Press, Oxford.
- Hensher, D. A.**, 1986, *Sequential and full estimation maximum likelihood estimation of nested logit*, Review of Economics and Statistics, LXVIII, 4, pp. 657-667.
- Hensher, D. A.**, 1989, *Behavioural and resource values of travel time savings, a bicentennial update*, Australian Road Research 19., pp. 223-229.

- Hensher, D. A.**, 1994, *Stated preference analysis of travel choice : the state of practice*, Transportation, 21, pp. 107-133.
- Hensher, D. A.**, 1999, *The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications*, Institute of transport studies, the University of Sydney, december.
- Hensher, D. A.**, 2001, *Measurement of the valuation of Travel time savings*, Journal of Transport Economics and Policy, 35, 1.
- Hensher, D. A.**, 2003, *Models of organisational and agency choices for pasger and freight-related travel choices: Notions of inter-activity and influence*, prété au congrès de l'International Association for Travel Behaviour Research.
- Hensher, D. A.**, 2001b, *Travel Research behavior, the leading edge*, Pergamon Press, Publication des actes du congrès de l'IATBR.
- Hensher, D. A.**, 2001c, *The mixed Logit model : the state of practice and warnings for the unwary*.
- Hensher, D. A.**, 1995, *Value of travel time savings in personal and commercial automobile travel*, ITS Working Paper 95-4.
- Hensher, D. A., Barnard, P. O., Truong, P. T.**, 1988, *The role of SP methods in studies of travel choice*, Journal of Transport Economics and Policy, 22, 1.
- Hensher, D. A., Hotchkiss, W. E.**, 1974, *Choice of Mode and the Value of Travel Time Savings for the Journey to Work*, The Economic Record, 50, 129, pp. 94-112.
- Hensher, D. A., Louvière, J.J.**, 1983, *Identifying individual preferences for international air fares*, Journal of Transport Economics and Policy, 17, pp. 225-245.
- Hensher, D. A., Rose, J. M., Greene, W.H.**, 2005, *Applied choice analysis. A primer*, Cambridge University Press.
- Hensher, D.A.**, 1997, *Behavioral value of travel time savings in personal and commercial*, In: Greene, D.L., Jones, D.W., Delucchi, M.A (Eds.), *The Full Costs and Benefits of Transportation.*, Springer, pp. 215–219.
- Hensher, D.A., Greene, W. H.**, 2004, *The Mixed Logit model: The state of practice*, Transportation , 30, pp. 133-176.
- Hess, S., Berliaire, M., Polak, J. W.**, 2005, *Estimation of value of travel time savings using mixed logit models*, Transportation Research A, 39, pp. 221-236.
- Hickling Corporation**, 1991, *National Cooperative Highway Research Program Report 342: Primer on Transportation, Productivity and Economic Development*.
- Hickling Corporation**, 1994, *Measuring the relationship between freight transportation services and Industry productivity*, Report NCHRP 2-17 (4).
- Hicks, J.**, 1976, *Some Questions of Time in Economics*, in A. Lang, et al. (eds) *Evolution, Welfare and Time in Economics*, Lexington, Mass: D. C. Heath and Co., pp. 135-151.
- Highway Economic Requirements System**, 1991, *Technical Report (Jack Faucett Associates, Bethesda, MD, prepared for the Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington, DC, July 1991)*.
- Holguin-Veras, H., Thorson, E.**, 2003a, *The role of experimental economics in freight transportation research : preliminary results of experimentation*, ETC conférence, Strasbourg.
- Holguin-Veras, H., Thorson, E.**, 2003b, *Modelling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model*, Transportation Research B, 37, 2, fév., pp. 129-148.
- Holmström, J.**, 1995, *Speed and efficiency — a statistical enquiry of manufacturing industries*, International Journal of Production Economics, 39, 3, pp. 185-191.
- Horowitz J. L., Louvière, J. J.**, 1993, *Testing predicted probabilities against observed discrete choice in probabilistic discrete choice models*, Marketing Press.

-
- Hotteling, H.**, 1938, *The general Welfare in relation to taxation and of railway and utility rates*, *Econometrica*, 6, pp. 242-269.
- Houthakker**, 1951, *Compensated changes in quantities and qualities consumed*, *Review of Economic Studies*, 19, 3, pp. 155-164, 1951-52.
- Howe, J.**, 1976, *Valuing Time Savings in Developing Countries*, *Journal of Transport Economics and Policy*, X, 2, May.
- Hussain, I.**, 1996, *Benefits of Transport Infrastructure Investments : a spatial computable General Equilibrium Approach*, Umeå economic studies n° 409.
- Istvan, R.L.**, 1992, *A new productivity paradigm for competitive advantage*, *Strategic management Journal*, 13, pp. 525-537.
- Jacowitz, K. E., Kahneman, D.**, 1995, *Measures of Anchoring in Estimation Tasks*, *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21, 11, pp. 1161-67.
- Jara-Diaz, S.R.**, 1986, *On the relation between user's benefits and the economic effects of transportation activities*, *Journal of Regional Science*, 26, 2, pp. 379-391.
- Jara-Diaz, S.R.**, 1990, *Consumer's surplus and the value of travel time savings*, *Transportation Research*, 24B, pp. 73-77, Cambridge, MA.
- Jara-Diaz, S.R., Farah, M.**, 1987, *Transport demand and users' benefits with fixed income : the goods/leisure trade-off revisited*, *Transportation Research*, 21B, pp. 165-170.
- Jara-Diaz, S.R., Friesz, L.**, 1982, *Measuring the benefits derived from a transportation investment*, *Transportation Research*, 16B, 1, pp. 57-77.
- Jeger, F., Thomas, J-E.**, 1999, *Les déterminants des prix des transports routiers de marchandise*, Notes du SES, mai juin 99, Ministère de l'équipement.
- Jessua, C., Labrousse, C., Vitry D.**, 2001, *Dictionnaire des sciences économiques*, 1096 p., collection grands dictionnaires.
- Jevons, W. S.**, 1924, *Theory of Political Economics*, 4ème édition.
- Jiang, F.**, 1998, *Choix modal et système logistique en transports de marchandises : modélisation, analyse économique et prévision du comportement du chargeur*, Thèse, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées., 212 p.
- Jiang, F.**, 1998b, *Modélisation de la valeur du temps des chargeurs*, Notes de synthèse du SES, sept-oct. 1998.
- Jiang, F., Calzada, Ch.**, 1998, *Validation des modélisations du choix modal des chargeurs en transport de marchandises et prévision*, Notes de synthèse du SES, sept-oct. 1998.
- Jiang, M, Morikawa, T.**, 2004, *Theoretical analysis on the variation of value of travel time savings*, *Transportation Research Part A*, 38, pp. 551-571.
- Judge G. et al**, 1984, *The theory and practice of econometrics*, Willey.
- Kagel, J.H., Roth A.E.**, 1995, *The Handbook of experimental economics*, Princeton University Press, Princeton.
- Kahneman, D., Snell, J.**, 1990, *Predicting utility*, In R. M. Hogarth, (Ed.), *Insights in decision making: A tribute to Hillel J. Einhorn*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
- Kahneman, D., Tversky, A.**, 1986, *Rational choice and the framing of decision*, *Journal of business*, pp 251 – 278.
- Kahneman, D., Tversky.A.**, 1979, *Prospect Theory: An Analysis of Decisions Under Risk*, *Econometrica*, 47, pp. 263-291.
- Kawamura, K.**, 1999, *Commercial vehicle [sic] value of time and perceived benefits of congestion pricing*, Berkeley, CA, Phd Thesis.
- Kawamura, K.**, 2000, *Perceived Value of Time for Truck Operators*, *Transportation Research Record*, 1725, pp. 31-36.
-

-
- Kishor, N. M.**, 1990, *The estimation of consumer preferences for attributes : a comparison of discrete choice and hedonic approaches*, University of Maryland College park., 187 p., Advisor: Cropper Maureen L.
- Kocur, G., Hyman, W., Aunet, B.**, 1982, *Wisconsin work mode choice models based on functional measurement and disaggregate behavioural data*, Transportation Research Record, 895, pp. 25-31.
- Koopmans, T.C.**, 1960, *Stationary ordinal utility and impatience*, Econometrica, 28, avril, pp. 287-309.
- Kreutzberger, E.D.**, à paraître, *The shipper's perspective on distance and time (in intermodal goods transport) and the operator's response*, soumis à la revue European Transport
- Kroes, E., Sheldon, R. J.**, 1988, *The design of SP travel choice experiments*, Journal of Transport Economics And Policy, XXII, 1.
- Kroes, E., Sheldon, R. J.**, 1988b, *Stated Preference Methods an introduction*, Journal of Transport Economics And Policy.
- Kullman, B. C.**, 1973, *A model of railtruck competition in the intercity freight Market*, Unpublished PhD dissertation, MIT.
- Kurri, Jari, Ari Sirkiä, Juha Mikola**, 2000, *Value of Time in Freight Transport*, Transportation Research Record, pp. 26-30, n° 1725.
- Lachelas, M.**, 1879, *Mémoire sur le roulage*, Annales des Ponts et Chaussées (1), pp. 364-425.
- Laibson, D.**, 1994, *Essays in Hyperbolic Discounting*, Ph.D., MIT.
- Lancaster, K.**, 1963, *An Axiomatic Theory of Consumer Time Preference*, International Economic Review, 4, pp.221-231.
- Lancaster, K.**, 1966, *A new approach to consumer theory*, Journal of Political Economy, 74, Avril, pp.132-157.
- Lee, N., Dalvi, M.Q.**, 1969, *Variations in the value of time*, Manchester Scholl of economics and Social Studies, 37, 3., Manchester.
- Lefebvre, L.**, 2002, *Les déterminants de productivité dans le transport routier de marchandises*, Thèse de sciences économiques.
- Lerman, S.R., Louvière, J.J.**, 1978, *On the use of direct utility assessment to identify the functional form of utility and destination choice models*, Transportation Research record, 673, pp. 78-86.
- Lesourne, J.**, 1972, *Le calcul économique*, Dunod, Paris.
- Lesourne, J.**, 1979, *L'analyse des décisions d'aménagement régional*, Dunod, 241 p., Paris.
- Leurent, F.**, 1998, *Les valeurs du temps des automobilistes à Marseille en 1995*, RTS, 60, pp. 19-35.
- Levin, I.P., Louvière, J. J., Schepanski, A.A., Norman, K.L.**, 1983, *External validity of laboratory studies of information integration*, Organizational Behavior and Human Performance, 31, pp. 173-193.
- Levin, R. C.**, 1978, *Allocation in surface freight transportation : does rate regulation matter ?*, Bell journal of economics, 9, pp. 18-45.
- Lewis K.A, Widup D.P.**, 1982, *Deregulation and rail-truck competition*, Journal of Transport Economics and Policy, 16, 2, may, pp. 139-149.
- L'Huillier, D.**, 1960, *Le coût de transport, l'analyse économique et l'entreprise face aux mouvements de marchandises*, 465 p., Paris.
- Li, L.**, 1992, *The role of inventory in Delivery time competition*, Management Science, 38.
- Li, L, Lee, Y.S.**, 1994, *Pricing and delivery time performance in a competitive environment*, Management Science, 40, 5, mai.
- Lin et ali**, 1986, *Estimating sales volume potential for innovative products with case history*, Proceedings of the 1986 ESOMAR Congress, pp. 182 - 197, Monte Carlo.
-

- Lippman, S., K. McCardle**, 1995, *The competitive newsboy*, Operational Research., 45, pp. 54–65.
- Little, I. L. D.**, 1960, *A critique of Welfare economics*, Oxford.
- Loewenstein, G., Elster, J.**, 1992, *Choice Over Time*, pp. 772-811, New York: Russell, Sage Foundation.
- Louvière, J.J., Kocur, G.**, 1983, *The magnitude of individual level variations in demand coefficient : a Xenia, Ohio case example*, Transportation Research A, 17A, pp. 363-373.
- Louvière, J.J.**, 1974, *Predicting the simulation of real stimulus object from an abstract evaluation of their attributes : the case of routes streams*, Journal of applied Psychology., 59, 5, pp. 527 -577.
- Louvière, J.J.**, 1988, *Conjoint analysis modelling of stated preferences*, Journal of Transport Economics and Policy, january.
- Louvière, J.J.**, 1991, *Analysing Decision making ; metric conjoint analysis*, Sage University Paper, 67, Sage, Beverly Hills.
- Louvière, J.J. Henley, D.H., Woodworth, G.G., Meyer, R.J. Levin I.P., Stober J.W., Curry D. et Anderson, D.A.**, 1981, *Laboratory simulation versus RP methods for estimating travel demand model*, Transportation Research Record, 794, pp. 42-51.
- Louvière, J.J., Beavers L.L., Norman, K.L. and Stetzer F.**, 1974, *An experiment to derive predictive models of public response to policy manipulations in public bus transport*, Technical report, 35, Institute of Urban and Regional Research, University of Iowa.
- Louvière, J.J., Beavers, L.L., Norman, K.L., Stetzer, F.**, 1973, *Theory methodology and findings in mode choice behaviour*, Working paper, 11, Institute of Urban and Regional Research, University of Iowa.
- Louvière, J.J., Hensher, D.A.**, 1982, *Design and analysis of simulated choice or allocation experiments in travel choice modelling*, Transportation Research Record, 890, pp. 11-17.
- Louvière, J.J., Hensher, D.A. and Swait, J.**, 2000, *Stated Choice Methods: Analysis and Applications in Marketing, Transportation and Environmental Valuation*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Louvière, J.J., Meyer, R.J.**, 1981, *A composite attitude behaviour model of traveller decision making*, Transportation Research B, 15, pp. 411- 420.
- Louvière, J.J., Woodworth, G.**, 1983, *Design and Analysis of Simulated Consumer Choice or Allocation Experiments: An Approach Based on Aggregate Data*, Journal of Marketing Research, 20, 4, pp. 350-367.
- Lu, C-S.**, 2000, *Logistics services in Taiwanese maritime firms*, Transportation Research part E, 36, pp. 79-96.
- Lucas de Sepulveda J., Lucas de Sepulveda C.**, 1994, *El precio en el transport de mercancías por carretera. Analisis a partir de la Encuesta Permanente de Transporte de mercancías por carretera*, Estudios de transportes y comunicaciones, 64, juillet, pp. 71-91.
- Lucas, R.E.B.**, 1972, *Working conditions, wage rates and human capital : a hedonic study*, M.I.T., oct 1972, unpublished doctoral dissertation.
- Lucas, R.E.B.**, 1975, *Hedonic Price functions*, Economic Inquiry, 13, 2, juin, pp. 157-178.
- Luce, J.**, 1959, *Individual choice behaviour : a theoretical analysis*, John Wiley and sons, New York.
- M.V.A.**, 1996, *Benefits of reduced travel time variability*.
- Mac Connell, K.E., Tseng, W.C.**, 1995, *Consumer surplus from discrete choice models*, Journal of environmental Economics and management, 29, pp. 263-270.
- Mackie, P.J., Fowkes, A.S., Wardman, M., Whelan, G., Bates, J.**, 2001, *Values of travel time savings in the UK - A report of evidence*, ITS Working Paper 567.

- Mackie, P.J., Tweddle, G.**, 1992, *Measuring the benefits gained by industry from road network improvements*, Measuring the benefits gained from industry from road network improvement - two cases study, PTRC, proceedings of seminar H, sept. 92.
- Mackie, P.J., Tweddle, G.**, 1993, *Measuring the benefits gained by industry from road network improvements*, ITS working paper 391.
- MacKinnon, J.G., White, H. y Davidson, R.**, 1983, "*Tests for model specification in the prece of alternative hypotheses*", Journal of Econometrics, 21, pp. 53-70.
- Maddala, G. S.**, 1977, *Econometrics*, McGraw Hill Boo Company, 516 p.
- Maddala, G. S.**, 1983, *Limited dependent and qualitative variables in econometrics*, Econometric Society Monographs, 3, Cambridge University Press, Cambridge.
- Maggi, R., Peter, P., Juerg M., Maibach M.**, 2000, *Nutzen des verkhers*, Rapport D10 du PNR 41.
- Maier, G. Bergmann, E.M.**, 2002, *Conjoint Analysis of transport options in Austrian regions and Industrial clusters*, in Danielis, R. (ed.) Freight transport demand and stated preferences experiments, F. Angeli, Milan.
- Maleyre, I.**, 1997, *L'approche hédonique des marchés immobiliers*, Etudes Foncières, 76, sept.
- Manski, C.**, 1977, *The Structure of Random Utility Models*.
- March, J. G.**, 1978, *Bounded rationality, ambiguity, and the engineering of choice*.
- Marchand, Skhiri**, 1995, *Prix hédonique et estimation d'un modèle d'offre et de demande de caractéristiques : application au marché de la location de logement en France*, Economie et Prévision, 121, pp. 127-140.
- Marcial Echenique & Partners Ltd**, 1998, *The EUNET project: Socio-economic and spatial impacts of transport improvements*, Internet: <http://fpiv.meap.co.uk/EUNET.doc>.
- Massiani, J.**, 2004, *La valeur du temps en transport de marchandises. Méthodes et résultats*, Séminaire du Groupe de recherche dans les transports, Namur. Janvier 2004.
- Massiani, J.**, 2003a, *Can we use hedonic pricing to measure freight value of time ?*, Congrès de l'International Association for Transport Behavior Research, Lucerne, Suisse, Août 2003.
- Massiani, J.**, 2003b, *The benefits of travel time reduction for freight transportation : beyond the costs*, Congrès de l'European Regional Science Association, Jyvaskyla, Finlande, Août 2003.
- Massiani, J.**, 2003c, *Gestione del tempo da parte degli operatori di trasporto : un modello a durate distinte*, Journée Scientifique de la Société Italienne des Economistes des Transports, Palerme, Nov. 2003.
- Massiani, J.**, 2004c, *The value of reliability in rail freight transportation*, European Regional Science Association Summer Institute, Split.
- Massiani, J., Danielis, R., Marcucci, E.**, 2004, *Heterogeneity in freight shippers'preferences*, European Transport Conference, annual conference of the Association for European Transport, Strasbourg, 4-6 Oct 2004.
- Mazzanti, M., Montini, A.**, 2001, *Valutazione economica multi-attributo mediante esperimenti di scelta. Aspetti metodologici e strumenti di analisi econometrica*, Congrès Società Italiana d'Economia Pubblica, Pavia.
- McFadden, D.**, 1974, *The measurement of urban travel demand*, Journal of Public Economics, 3, Avril, pp. 303-328.
- McFadden, D.**, 1999, *Rationality for economists ?*, Journal of risks and uncertainty, 19, 1-3, pp 73-105.
- McFadden, D.**, 1981, *Econometric models of probabilistic choice*, in, Manski, C.F. et McFadden, D. (eds) Structural analysis of discrete choice data with econometric applications, Cambridge, MIT press.

- McFadden, D., Train, K.**, 2000, *Mixed MNL models for discrete response*, Journal of applied econometrics, 15, 5, pp. 447-470.
- McFadden, D.L.**, 1986, *The choice Theory approach to Market research*, Marketing science, 5, 4, pp. 275-297.
- McFadden, D.L.**, 1996, *On the analysis intercept and follow surveys*, Conference on theoretical foundations of travel choice modelling, Stockholm.
- McFadden, D.L., Winston, C., Boersch-Supan, A.**, 1985, *Joint estimation of freight transportation decisions under random sampling*, Daughety, E.F. Analytical Studies in Transport Economics, Cambridge University Press, Cambridge.
- McGinnis, M. A.**, 1978, *Segmenting freight markets*, Transportation Journal, 18, 1, pp. 58-68.
- McGinnis, M. A.**, 1989, *A comparative evaluation of freight transportation choice models*, Transportation Journal, 29, 2, hiver, pp. 36-46.
- McKinnon, A. C.**, 1989, *Physical distribution systems*, 352 p.
- McKinnon, A. C.**, 1998, *The impact of Traffic congestion on logistical efficiency*, Institute of logistics research series n°2, Heriot Watt University, Institut of logistics, 38 p., Edinburgh.
- McKinnon, A. C.**, 1993b, *The Changing demand for freight transport in North West Europe*, ESEC conference "European Transport : en unfolding crisis". nov 93, Edinburgh.
- McKinnon, A. C.**, 1994, *Roads, freight transport and economic development : a review of the main issues*, Roads and the economy seminar, Transport 2000, London.
- McKinnon, A. C.**, 1995, *The contribution of road construction to Economic development*, T&E workshop on "roads and the economy", Brussels, 8 th december 1995.
- McKinnon, A. C., Woodburn A.**, 1993, *A logistical Perspective on Freight Traffic growth*, Traffic Engineering and Control, 34, 9.
- McKinsey & Company**, Afrekenen met files (inclusief Bijlagen), Amsterdam, 1986
- McLachlan, Krishnan**, 1997, *The EM algorithm and extensions*, John Wiley and Sons, New-York.
- Méteyer, J-C.**, 2000, *Valeur du temps en transport interurbain de marchandises*, Note de synthèse (document de travail, version du 10 janvier 2000).
- Méteyer, J-C.**, 2001, *Commentaires sur la diversité des valeurs du temps en transport de marchandises*, Notes du SES, jan.- fév.
- Meyer, K.**, 1998, *La concurrence rail route : analyse économétrique des trafics de marchandises et des perspectives du transport combiné*, Thèse de doctorat d'économie, 515 p., sous la direction de JP Laffargue.
- Miklius, W., Casavant, K.L.**, 1975, *Estimated and perceived variability of transit time*, Transportation Journal, pp. 47-51.
- Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement**, 1998, *Méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne*, circulaire n° 98 - 99 du 20 oct. 1998.
- Ministère de l'Équipement et du Logement, Direction des routes, Direction de la sécurité et de la circulation routière**, 1988, *Les effets socio-économiques des grandes infrastructures routières*, SETRA.
- Mitchell, R. C, Carson, R. T.**, 1984, *A contingent valuation estimate of national freshwater benefits: technical report to the U.S. Environmental Protection Agency*, Resources for the Future, Washington, DC.
- Mitchell, R. C, Carson, R. T.**, 1989, *Using surveys to value public goods: the contingent valuation method*, Resource for the Future, Washington, DC.
- Mohring, H., Williamson, H.F.**, 1969, *Scale and industrial reorganisation economies of transport improvement*, Journal of Transport Economics and Policy, 20, pp. 377-384.
- Morash, A. E., Ozment, J.**, 1996, *Strategic use of time*, Transportation Journal, hiver, pp. 35-46.

- Morikawa, T.**, 1994, *Correcting state dependence and serial correlation in the RP SP combined estimation method*, Transportation, 21, pp. 153-165.
- Morikawa, T.**, 1989, *Incorporating SP data in travel demand analysis*, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, juin 1989.
- Morokoff, W. Calfisch, R.**, 1995, *Quasi Monte Carlo integration*, Journal of computational physics, 122, pp. 218-230.
- Morton, A.**, 1969, *A statistical Sketch of Intercity Freight Demand*, Highway research record, 196.
- N.E.A.**, 1991, *Filekosten op het nederlandse hoofdwegennet in 1990*, Rapport, 91072/12515, N.E.A., Rijswijk.
- Nellthrop, J.**, 2001, *European innovation in multi modal assessment : how will they support and enhance the public policy process ?*, Nectar conference, Espoo, Helsinki, 16-18 mai 2001.
- Norman, K.L.**, 1977, *Attributes in bus transportation : importance depends on trip purpose*, Journal of Applied Psychology, 62, pp. 164-170.
- Norman, K.L., Louvière, J.J.**, 1974, *Integration of attributes in public bus transportation, two modelling approaches*, Journal of Applied Psychology, 59, 6, pp. 753-758.
- Ogwud, I.C.**, 1993, *The value of transit time in industrial Freight Transportation in Nigeria*, International Journal of Transport Economics., XX, 3.
- Ortúzar, J. de D., Armstrong, P.M.**, 1995, *Confidence intervals and the social value of travel time savings*, Proceedings 23rd European Transport Forum, Vol. P393, Seminar F: Models and Applications, PTRC Education and Research Services, pp. 119-130., London.
- Ortúzar, J. de D., Garrido, R. A.**, 1994b, *A practical assessment of stated preferences methods*, Transportation, 21, 3, août, pp. 289-307.
- Ortúzar, J. de D., Garrido, R. A.**, 1994c, *On the semantic scale problem in SP rating experiments*, Transportation, pp. 185-201.
- Ortúzar, J. de D., Willumsen, L. G.**, 1994, *Modelling transport*, John Wiley, Chichester.
- Ortúzar, J. de D., Hensher, D., Jara-Díaz, S. (sous la direction de)**, 1998, *Travel Behaviour Research: Updating the State of Play*, 566, IATBR 94 Conference.
- Oum, T.H.**, 1979, *A cross sectional study of freight transport demand and rail truck competition in Canada*, Bell journal of economics, 10, pp. 463-482.
- Oum, T.H.**, 1989, *Alternative demand models and their elasticity estimates*, Journal of Transport Economics and Policy, 23, pp. 163-188.
- Oum, T.H.**, 1979b, *A warning on the use of linear logit models in transport mode choice studies*, The Bell journal of economics, vol. 10 n°1 spring 79, pp. 374-378.
- Paché, G.**, 1995, *Speculative inventories in the food retailing industry : a comment on French practices*, International Journal of Retail and Distribution Management, 23, 12, pp. 36-42.
- Paché, G., Sauvage, T.**, 2004, *La logistique enjeux stratégiques*, Vuibert, 178 p., 3ème édition
- Palar, M.**, 1988, *Game theoretic analysis of the substitutable product inventory problem with random demands*, Naval Res. Logist. Quart., 35, pp. 397-409.
- Pareto, ,** 1927, *Manuel d'économie politique*, Giard.
- Parker, B.R., Srinivasan, V.**, 1976, *A consumer preference approach to the planning of rural health care facility*.
- Pearmain, D.**, 1992, *The measurement of users willingness to pay for improved rail facilities*, PTRC Annual summer meeting, transportation. meth sem. E, PTRC, pp. 183-194.
- Perle, E.**, 1964, *The demand for transportation : regional and commodity studies in the United States*, University of Chicago Press.
- Pigou, A.C.**, 1952, *The economics of Welfare*.
- Pommereul, J. de**, 1777, *De l'importance et de l'utilité des chemins publics en France*, Amsterdam.

-
- Prud'homme, R.**, 2000, *La congestion et ses coûts*, Annales des Ponts et Chaussées, nouvelle série, 94, pp13-19.
- Prud'homme, R.**, 1999, *L'utilité du réseau routier*, Transports, 396, juillet -août, pp. 245-248.
- Quandt, R.E.**, 1968, *Estimation of modal splits*, Transportation Research, 2, pp. 41-50.
- Quarmby, D.A.**, 1989, *Developments in the retail market and their effect on freight distribution*, Journal of Transport Economics and Policy, Jan., pp. 75-87.
- Quigley, J.**, 1979, *What Have We Learned about Housing Markets?*, Current Issues in Urban Economics, ed. Peter Mieszkowski and Mahlon Straszheim, Johns Hopkins University Press, pp. 391-429, Baltimore.
- Quinet, E.**, 1998, *Principes d'économie des transports*, Economica, Paris.
- Rabin, M.**, 2002, *A perspective on psychology and economics*, European Economics Review, 46, pp. 657-685.
- Rail et transports**, 2002, *De Paris à Villeurbanne en 24 heures*, Rail et Transport, 14 août 2002, pp. 8-9.
- Roberts, P.O.**, 1975, *Factors influencing the demand for ground movement*, MIT center for transportation studies, report CTS 75-16, Cambridge, MA., 01/09/1975.
- Roberts, P.O.**, 1977, *Forecasting Freight Demand*, Transport decision in an age of uncertainty. Proceedings of the third world conference on transport research., E.J. Viser Editor, pp. 247-264, Rotterdam.
- Roberts, P.O.**, 1981, *The translog shipper cost model*, Center for transport studies, MIT, Cambridge, MA.
- Rolfe, J., Bennet, J., Louvière, J.J.**, 2000, *Choice modelling and its potential application to tropical rainforest preservation*, Ecological Economics, 35, pp. 289 – 302.
- Romilly, P.**, 2003, *Welfare evaluation with a road capacity constraint*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 38, may, pp 287-303.
- Rosen S.**, 1974, *Hedonic prices and implicit markets : product differentiation in pure competition*, Journal of Political Economy, 1, pp. 34-55.
- Rosenberger, R.**, 2001, *Rationality, decisions theories, and thresholds : implications for environmental valuation*, Research Paper 2001-13, Research Institute and division of resource management, West Virginia University.
- Rosenstein Rodan**, 1934, *Le rôle du temps dans la théorie économique*, Economica.
- Rotaris, L.**, 2003, *Indagini di analisi congiunta : fondamenti teorici e valenza descrittiva*, in Trasporto merci, logistica e scelta modale, ed Giacomo Borruso, Giancarlo Polidori., Ed : Franco Angeli.
- Rousseas, Hart**, 1951, *Experimental Verification of a Composite Indifference Map*, Journal of Political Economy, 59, 4, pp. 288-318.
- Rouwendal, J.**, 2001, *Indirect Welfare Effects of Price Changes and Cost-Benefit Analysis*, Tinbergen Inst. Discussion Paper No. TI 02-011/2.
- Rowe, R., d'Arge, K. C., Brookshire, D. S.**, 1980, *An experiment on the economic valuation of visibility*, J. Environ. Econ. Manage., 7, 1, March, pp. 1-19.
- Runhaar, H.**, 2002, *Freight transport: at any price? Effects of transport costs on book and newspaper supply chains in the Netherlands*, T2002/7, TRAIL Thesis, Series, Delft University Press, The Netherlands.
- Ruud, P.**, 1996, *Approximation and simulation of the multinomial probit model : an analysis of covariance matrix estimation*, Working paper, Department of economics, University of California, Berkeley.
-

-
- Salais R., Storper M.** , 1993, *Les mondes de production. Enquête sur l'identité économique de la France*, Editions de l'EHESS, 467 p.
- Salanié, B.**, 1998, *Microéconomie : les défaillances du marché*, Economica, collection ESA., Paris.
- Saleh et Lalonde**, 1972, *Industrial buying behaviour and the motor carrier selection decision*, Journal of Purchasing, 8, 18.
- Salini, P.**, 1997, *Le temps un paramètre singulier des transports*, BTL 2763.
- Samuelson, P.**, 1937, *A Note on Measurement of Utility*, Review of Economic Studies, 4, pp. 155–61.
- Samuelson, P.**, 1976, *Speeding up of time with age in recognition of life as fleeting*, in A. Lang, et al. (eds) *Evolution, Welfare and Time in Economics*, Lexington, Mass: D. C. Heath and Co., pp. 135-151.
- Savy, M.** , 2002, *La messagerie, transport moderne*, Transports, 414, août, pp. 225-231.
- S.E.S.** , 2005, *Bilan social annuel du transport routier de marchandises*, mars 2005.
- S.E.S.** , 1998, *Analyse détaillée du TRM*.
- Scaccia, L.**, 2005, *L'eterogeneità delle preferenze nel trasporto merci : un confronto tra diversi metodi per catturarla*, in *Riequilibrio ed integrazione modale nel trasporto delle merci, gli attori e i casi italiani*, a cura di G. Borruso, G. Polidori. Ed Franco Angeli, pp. 83-95.
- Schkade, D.A., Payne, J.W.**, 1994, *How people respond to contingent valuation questions: A verbal protocol analysis of willingness to pay for an environmental regulation*, Journal of Environmental Economics and Management, 26, pp. 88–109.
- Schmenner , R.** , 1988, *The Merit of Making Things Fast*, Sloan Management Review, 30, 1, fall, pp. 11-17.
- Seidenfus**, 1985, *Changes in Transport Users modal Split*, Table ronde CEMT, 69.
- Sen, A.**, 1997, *Choice, Welfare and measurement*, First Harvard university press pbk ed., 460 p., Cambridge Massachusetts.
- Sen, A.**, 1999, *L'économie est une science morale.*, La Découverte.
- SETRA** , 1980, *Un modèle de choix des usagers entre itinéraires concurrents*, Rapport d'étude, Bagnex.
- SETRA** , 1986, *Instruction relative aux méthodes d'évaluation des investissements routiers en rase campagne*, Ministère de l'équipement du logement et des transports, Paris.
- SETRA** , 1995, *Estimation de la valeur des temps des poids lourds et des autocars*, Note du 30 mai 1995 sur les coûts de revient du transport routier.
- Shackle, G. L. S.**, 1958, *Time in Economics*, North-Holland Publishing Co., 111 p., Amsterdam, [Professor Dr. F. De Vries Lectures. vol. 2.].
- Shackle, G. L. S.**, 1973, *An economist Querist*.
- Shackle, G. L. S.** , 1990, *Time, expectations and uncertainty in economics. selected essays, edited by Ford. J. L., Elgar, Aldershot*.
- Sheppard, R. W.**, 1974, *Cost and production function*, Princeton University Press, Princeton.
- Sheth, J.N.** , 1976, *Recent developments in organisation buying behaviour*, Faculty working paper n°317, College of commerce and business administration, University of Illinois at Urbana Champagne.
- Simon, H.A.**, 1982, *Models of Bounded Rationality, Vol.1 et 2.*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Simon, H.A.**, 1986, *Rationality in Psychology and economics*, Rational Choice ed. by Hogarth, R.M., Reder, M.W., The university of Chicago press.
- Small, K., Rosen, S.**, 1981, *Applied Welfare economics with discrete choice models*, Econometrica, 49.
- Spady R., Friedlander, A.** , 1976, *Econometric estimation of costs functions in the transport industry*, MIT, center for transport studies.
-

-
- Spady R., Friedlander, A.**, 1978, *Hedonic cost function for the regulated trucking industry*, The Bell journal of Economics, printemps, pp. 154-179.
- Stalk, G. Jr**, 1988, *Time the next source of competitive advantage*, Harvard business review, juillet-août, pp. 41-51.
- Stalk, G., Hout**, 1990, *Competing against time : How time-based competition is reshaping global markets*, New York: Macmillan, Free Press; London: Collier Macmillan p x, 285 1990.
- Steedman, I**, 2001, *Consumption takes time. Implications for economic theory*, The Graz Schumpeter Lectures. 4., Routledge, 162 p., London.
- Stigler, G. J.**, 1961, *The economics of information*. *Journal of Political Economy*, 69, pp. 213-225.
- Stigler, G. J., Becker J.S.**, 1977, *De gustibus non est disputandum*, American Economic Review, mars.
- Suzaki, ,** 1985, *Work in progress management ; an illustrated guide to productivity improvement*, Production Inventory Management, Fall, pp. 44 –53.
- Suzuki S., Harata M., Ohta K.**, 1989, *A study on the measurement methods of the value of time*, Transport policy, management & technology towards 2001., 1, World Conference on Transport Research (5th : 1989 : Tokohama-shi, Japan), pp. 175-187.
- Swait, J., Adamowicz, W.**, 1996, *The Effect of Choice Complexity on Random Utility Models: An Application to Combined Stated and Revealed Preference Models*, Prepared for pretation at the 1996 AERE Workshop.
- Swait, J., Adamowicz, W.**, 1999, *Choice environmental market complexity and consumer behavior : a theoretical and empirical approach for incorporating decision complexity into models of consumer choice*, Working Paper, 99-04 Dep. of rural economy, university of Alberta, Edmontown.
- Swait, J., Louvière, J.J., Williams, M.**, 1994, *A sequential approach to exploiting the combined strengths of S.P. and R.P. data : application to freight shipper choice*, Transportation, 21, pp. 135-152.
- Swamidass, P. M.1, Majerus, C.**, 1991, *Statistical control of manufacturing cycle time and project time: lessons from statistical process control*, International Journal of Production Research, 29, 3, mars, p551, 13p.
- Szpiro, D.**, 1996b, *Le transport de marchandises ; comment mesurer le service rendu ?*, Revue de Rexecode, n° 50, février 96, Rexecode, pp. 3-71, Paris.
- Szpiro, D.**, 1996c, *Le transport de marchandises, volume, qualité et prix hédoniques*, Version révisée, 10 mai 1996., Working paper, Université de Lille I, Modern et Clersé., En collaboration avec Hannappe, P. et Gouvernal, E.
- Szpiro, D., Gouvernal E., Hannape P.**, 1996, *L'évaluation des services rendus par les transports de marchandises : une application de la méthode des prix hédoniques*, version provisoire.
- Tani, P.**, 1984, *Analisi microeconomica della produzione*, 351 p.
- Thaler, R.H.**, 1994, *Quasi rational economics*, Russel Sage fondation, New-York.
- Thompson, L., S.**, 1990, *Cost and trip time tradeoffs on a mixed traffic railway*, Infrastructure Notes, Transport N° RW –2.
- Thurstone, L.L.**, 1931, *The measurement of social attributes*, Journal of Abnormal and Social Psychology , 26, pp. 249-269.
- Tinbergen, J.**, 1957, *The appraisal of road construction : two calculations schemes*, The Review of Economics and Statistics, august 1957., Netherlands Economics institute.
- Tinbergen, J.**, 1959, *On the theory of income distribution*, Selected paper of Jan Tinbergen, edited by L.H. Klas, M.M. koyck, H.J. Witteveen, Amsterdam.
- Tinbergen, J.**, 1985, *Production Income and Welfare, the search for an optimal social order*, Brighton.
-

- Train, K.**, 1999, *Halton sequences for mixed logit*, Department of Economics, University of California at Berkeley.
- Train, K., McFadden, D.**, 1978, *The goods/leisure trade-off and disaggregate work trip mode choice models*, *Transportation Research*, 12, pp. 349-353.
- Transek.**, 1990, *Godskunders värderingar, Banverket*, Rapport 9 1990:2.
- Transek.**, 1992, *Godskunders transportmedelsval*, VV 1992:25, oktober.
- TRD international SA**, 1995, *Evaluation of the feasibility of the Rio Antirio bridge*, Athènes.
- Turner, R. E.**, 1975, *Freight Mode selection in Canada*, Report n°75.14, Canadian Institute of guided ground Transport, Kingston, Ontario.
- Tyroyanni, H.**, 1990, *Economie industrielle et organisation des marchandises : l'expérience française*, LET, nov. 90.
- Tyroyanni, H.**, 1992, *Fonction de coût de l'industrie du transport public routier de marchandises en France*, Actes du séminaire d'Economie des transports de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp. 115-192.
- Vaessen, Willem**, 1992, *The economics of speed. Assessing the financial impact of the just-in-time concept in the chemical-pharmaceutical*, Economics and the antagonism of time. Time, uncertainty, and choice in economic theory. Douglas Vickers, Peter Lang. University of Michigan Press., 272 p.
- Vainio, M.**, 1995, *Traffic Noise and Air Pollution. Valuation of externalities with Hedonic Pricing and Contingent Valuation*, Helsinki School of Economics and Business Administration. Doctoral Dissertation A-102., 239 p.
- Van der Hoorn, T., van Hoek, H.**, 1984, *Translation of results from the Dutch national model into practical information for policy recommendations*, Proceedings of the 16th PTRC Summer Annual Meeting, D, 165-182, PTRC, London.
- Vandaele, E., F. Witlox**, 2003, *Kwaliteitsattributen in het goederenvervoer gemeten: een 'stated preference' benadering*, in: Vervoerslogistieke werkdagen 2003, pp. 315-324, Connekt, Delft.
- Varian**, 1992, *Microeconomic analysis*, 3ème édition.
- Vickers, D.**, 1992, *Economics and the antagonism of time. Time, uncertainty, and choice in economic theory*, University of Michigan Press.
- Viera, L.F.M.**, 1992, *The value of service in freight transportation*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Voegolin, E.**, 1924, *Die Zeit in der Wirtschaft*, Arch. f. Sozw.
- Walker, M.**, 1994, *Quick response, the road to lean logistics*, in *Logistics and distribution Planning* (Ed Cooper J.C.). Kogan Page.
- Wallis, W.A., Friedman, M.**, 1942, *The empirical derivation of indifference functions*, Studies in Mathematical Economics and Econometrics in memory of Henry Shultz, Ed Lange, O., McIntyre, F., and Yntema, T.O., University of Chicago Press, Chicago.
- Wang Chang, S.J., Friedlander, A.F.**, 1984, *Output aggregation, Network effects and the measurement of trucking technology*, *The Review of Economics and Statistics*, 2, May, pp. 267-276.
- Wardman, M.**, 1988, *A comparison of RP and SP models of travel behaviour*, *Journal of Transport Economics and Policy*, 22, 1.
- Waters, W.G., Wong, C., Megale, K.**, 1995, *The value of commercial vehicle time savings for the evaluation of highway investments : a resource saving approach*, *Journal of Transportation Research Forum*, 35, 1.
- Waugh, F.V.**, 1928, *Quality factors influencing vegetables prices*, *Journal of Farm Economics*, 10, pp. 185-196.

-
- Weber, E.H.** , 1834, 1846, *Die Lehre vom Tastsinne und Gemeinegeföhle auf Versuche gegründet*, F. Wieveg und Son, Braunschweig.
- Widlert, S.**, 1994, *Stated Preference Studies : the design affects the results*, in, Travel behaviour research : updating the state of the play., pp. 105-121.
- Widlert, S., Bradley, M.** , 1992, *Preferences for freight services in Sweden, Sixth world conference in transport research*, Lyon.
- Wigan, M.R., Rockcliffe, N., Thoresen, T., Tsolakis, D.**, 1998, *Valuing long haul and metropolitan freight travel time and reliability*, 22nd Australian Transport Forum, Sept 1998, Sydney, 1(2), pp. 29-38., NSW (Transport 2000), Data Centre, NSW Department of Transport, 227 Elizabeth St. Sydney NSW.
- Williams, H.**, 1977, *On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit*, Environment and planning A, 9, pp. 285-344.
- Winship, C., Mare, D.**, 1984, *Regression models with ordinal variables*, American Sociological Review, 49, pp. 512-525.
- Winston, C.** , 1979, *A Disaggregate Qualitative Mode Choice Model For Intercity Freight Transportation*, Unpublished PhD dissertation, Department of Economics, University of California, Berkeley.
- Winston, C.** , 1981, *A disaggregate Model of the demand for intercity freight transportation*, Econometrica, 49, 4.
- Winston, C.** , 1983, *The demand for freight transportation : models and applications*, Transportation Research A, 17A, 6, pp. 419-427.
- Winston, C.** , 1985, *Conceptual developments in the economics of transportation : an interpretative survey*, Journal of Economic Litterature, 23, 1, Mars, pp. 57-94.
- Winston, G. C.** , 1982, *The timing of economic activities. Firms, households and markets in time-specific analysis*, Cambridge University Press., 343 p., Cambridge.
- Winston, G. C., McCoy T. O.**, 1974, *Investment and the optimal idleness of capital*, Review of Economic Studies, 41, 127.
- Witte, A.D., Sumka, H.J., Erekson**, 1979, *An estimate of structural hedonic price model of the housing market : an application of Ro's theory of implicit markets*, Econometric., 47, pp. 1151-1173.
- Wittenburg, P.B.**, 1932, *Wirtschaft und Zeit*, Heidelberg.
- Wittink, D., Montgomery, D.**, 1979, *Predictive validity of trade-off analysis for alternate segmentation schemes*, Proceedings of American Marketing Association Educators conference, American Marketing association, Chicago.
- Womack, J.P., Jones, D.T.**, 1996, *Lean Thinking, banish waste and create wealth in your corporation*.
- World Bank**, 1999, *Transport infrastructure note OT-05 : value of time table*, www.worldbankorg/html/fpd/transport/publicat/ot5_vothtm, consulté le 13 juillet 1999.
- World Cargo News**, 1995, *Volvo weighs up the options*, September.
- Wright, P.L., Kriewall M.A.**, 1980, *State of mind effects on the accuracy with which Utility functions predict market place choice*, Journal of marketing research, 17, pp. 277-293.
- Wynter, L.** , 1994, *La valeur du temps de transport de fret en France, estimation à partir d'une enquête de préférences déclarées*, RTS, 44, Sept., pp. 23-29.
- Wynter, L.** , 1995, *The value of time of freight transport in France : estimation of continuously distributed values from a stated preference survey*, International Journal of Transport Economics, pp. 151-65.
- Wynter, L.** , 1995b, *Contributions à la théorie et à l'application de l'affectation multi-classe du trafic*, Thèse de Doctorat, ENPC, Paris.
-

Yai et alii, 1990, *Desegregate modelling by multi-source data*, 5th WCTR.

Zerguini, S., 1998, *Contribution à l'analyse économique de l'exploitation de la route*, Thèse de Doctorat, 253 p., Créteil, Université de Paris XII – SETRA.

Zerguini, S., à paraître, *Variabilité des temps de déplacement*.

Zhi Ping, J., 1994, *Transport combiné ou transport routier ? Etude des facteurs de choix entre deux systèmes de transport intérieur de fret*, Thèse de doctorat ENPC, réf. 94503.

Zlatoper T. J., Austrian Z., 1989, *Freight transportation demand : a survey of recent econometric studies*, *Transportation*, 16, pp. 27-46.

Texte original des citations traduites

ⁱ "Research is rather more advanced in the passenger field than in the freight field."

ⁱⁱ "The goods cannot decide."

ⁱⁱⁱ "In freight transportation, although the decision is embedded in the larger production, distribution and location problems faced by the firm, it could be made ultimately by a shipping or receiving manager; or could reflect, quite simply, the solution to a firm's overall maximisation problem."

^{iv} "attempts of classification (which however did not succeed in carrying the matter very far) were made."

^v "The period method is a highly unreal construction and the only way to justify its use is to ask what better method can be used."

^{vi} "the analytical pressures spawned by the ignorance that time still to come imposes upon us."

^{vii} "is a joint element of an economic good rather than an economic good proper."

^{viii} "The economics of the Austrian school features a production process – a sequence of activities in which the outputs associated with some activities feed in as inputs to subsequent activities (...)."

^{ix} "velocità inferiori potranno essere trattate come se al funzionamento della macchina alla velocità massima si alternassero periodi di sosta della macchina stessa."

^x "Some companies have opposed recent attempts to force them to send all heavy and long distance traffic by rail, on the grounds that it makes them particularly vulnerable to rail strikes."

^{xi} "the amount society is willing to pay to transfer its members time from travel to other presumably more productive, activities."

^{xii} "Congestion is not necessarily inefficient : queues perform efficient function when increases in supply or other methods of allocating resources, such as congestion charging, are infeasible or more costly than the costs involved in queuing."

^{xiii} "In general one would expect it (le coefficient du temps dans l'utilité indirecte) to be negative, however for a few commodities group it might very well be positive. The basic reason for this is that a transportation mode can serve the same purpose as a warehouse, albeit a moving one. Thus, for those commodities where storage requirements could lead to considerable expense, slower transit times may be attractive."

^{xiv} "obsolescence costs, in transit interest costs, and the interest and storage costs of holding inventories."

^{xv} direct shipping costs + carrying costs + ordering costs + recipients' inventory carrying costs + safety stock.

^{xvi} "The concentration of production facilities and a reduction in the number of distribution depots that a given firm will use to supply the country will no doubt continue, with an extension of Europe wide production and distribution systems."

^{xvii} "The future scope for further development in these directions to be distinctly less than in the past 15 years."

^{xviii} "reasonable estimates can be made based on some engineered costing studies."

^{xix} "This model has received little support in the empirical literature."

^{xx} "Maintenance costs on a mixed traffic line therefore increase more or less geometrically as the track standards become stricter."

^{xxi} "Railways are extremely efficient low speed carriers because of the very low friction factor between steel wheels and steel rails. As speed increases however the factors generating resistance begin to predominate, as speeds increases beyond about 100 km/h wind resistance begins to be a major factor and the power to overcome wind resistance increases roughly as the third power of speed."

^{xxii} "even with this improvement the estimated transport time was significantly longer than for road transport (20 hours)."

^{xxiii} "the increase in consumer surplus that comes about from a parallel upward shift in the demand curve for rail freight services."

^{xxiv} Recent studies of value of time savings for freight vehicles in the US, UK, Denmark, Sweden, Norway, Netherlands, France and Germany have been of two broad types. The factor cost method involves identifying the components of vehicle costs which vary with the amount of elapsed time (mostly wages, interest on capital employed or tied up in inventory on wheels, and licensing fees). The stated preference method involves carefully customised studies of shippers choice, and might be expected to pick up additional, more subtle, sources of value such as the possibility of restructuring logistic systems as transport performance improves.

Empirical results tend to confirm that expectation. For non-bulk road transport in the Netherlands, factor cost methods valued time savings at about \$22-24 per truckload shipment per hour at 1995 prices compared with SP studies values of about \$40 per shipment per hour. SP values for road haulage in Sweden and for rail freight in both the US and UK, all of which related mainly to long distance bulk transport, gave much lower values. In most Bank client countries there is inadequate evidence to substantiate the adoption of the higher values. It is therefore recommended that, in the absence of local evidence, the value of freight vehicle travel times should be calculated on the factor cost basis.

(...)

Where it is not possible to derive values locally, the following bases should be used:

For freight and public transport : resource cost approach = vehicle time cost + driver wage cost + occupants time.

^{xxv} *"less damage to freight in transit, lower requirements for buffer stocks, and increased scope for time sensitive operations."*

^{xxvi} *"in deriving time values for Australian use, Austroads assumed that the convenience benefit from an hour saved equals 25 % of the hourly operating costs."*

^{xxvii} *"the choice of 25 % was arbitrary."*

^{xxviii} *"Considers shippers who have utility for transport modes much as travellers have utility for bus or car."*

^{xxix} *"The intuitive formulation of the receiver problem is that he maximises expected utility with respect to the model attributes of the i^{th} mode subject to a constraint on the quantity he receives."*

^{xxx} *"The deviations of actual behavior from the (expected) utility model are too widespread to be ignored, too systematic to be treated as random errors."*

^{xxxi} *"Errors people make in acquiring and processing information before making choices are often systematic."*

^{xxxii} *"There is little planning and deliberation by shippers when selecting road hauliers."*

^{xxxiii} *"non è una teoria del comportamento, ma semplicemente uno strumento di analisi per generare dati comportamentali da consumatori ed utenti."*

^{xxxiv} *"This agitation for greater psychological realism is now yielding results."*

^{xxxv} *"Would you rather be elegant and precisely wrong, or messy and vaguely right."*

^{xxxvi} *"Many conjoint studies in a variety of travel context (...) have demonstrated that utility specification are not additive."*

^{xxxvii} *"in particular individuals can (and do) use elimination and nesting strategies which violate the IIA assumption of MNL models"*

^{xxxviii} *"Sometimes, there will be a natural partition. But in other instances, the partitioning of the choice set is ad hoc and leads to the troubling possibility that the results might be dependent on the branches so defined."*

^{xxxix} *"In the case where the shipper makes the choice, the assumption is clearly justified since he is obligated to send the quantity that is specified in the purchase order."*

^{xl} *"The estimation of a mode choice price elasticity from an intercity freight mode choice model that treats shipment size as endogenous will be larger than the one obtained from mode choice model. That is, in a joint choice model, the effect of an increase in the price of rail will have a negative impact on an endogenous shipment size (all else being equal) because the shipper could be induced to decrease shipment size in anticipation of being more likely to use the alternative mode. Further because shipment size is included in the mode choice specification, this decrease in shipment size will reduce the probability of using rail."*

^{xli} *"the urban models produced higher vot means for toll based costs than fuel based costs."*

^{xlii} *"For example in the case of freight transportation one uses the actual shipment size and service characteristics for a given movement to judge whether it is sensible to characterise particular modes as competitors for the shipment under study . In aggregate studies, this consideration is obscured as movements are aggregated into shares at the regional or national level. in the process of aggregation a significant amount of information regarding the competitive interface is lost"*

^{xliii} *"both aggregate and disaggregate models should ultimately be derivable from individual behaviour : at issue primarily in the aggregate disaggregate dichotomy, is the nature of the data that was employed"*

^{xliv} *"the base mode is the mode represented in the denominator of every logit equation"*

^{xlv} *"the aggregate approach, while generally providing deceptive good results in terms of conventional goodness of fit statistics when applied to zonal data, frequently resulted through the loss of information arising from the grouping in model with poor explanatory power and forecasting ability"*

-
- xlvi "for about one third of the selected shipments in the RP, the information about transport time as missing or uncertain"
- xlvii "it is not an unusual occurrence in the estimation of mode choice models from RP data and is due to the limited variability of the difference between car and train haul time"
- xlviii "the precision of measurement of VOT through RP is almost invariably extremely low due to the high correlation that generally exists between time and cost attributes of the competing alternatives and the low information content of the data sets".
- xliv "For example with 2000 observations the likely 95 % confidence intervals have been calculated as +/- 45 %."
- l "The 95% confidence intervals on the overall value of time estimates was plus or minus one third, indicating that even a good RP experiment with about 1000 responses still yields rather imprecise estimates."
- li "We are making estimates of relative preferences as expressed in a SP experiment rather than of what would occur in the market."
- lii "**affirmation bias** (tendency of the respondent to agree with the interviewer or analyst), **unconstrained bias** (failing to consider all the negative effects of a possible change), **rationalisation bias** (blindness to the disadvantages of the currently chosen alternative), **policy response bias** (respondent biases its response to influence policy decision)."
- liii "and cast doubt on the cognitive congruence of the time frames in which experimental versus market decisions are made."
- liv "The approximations that have been used in past studies will produce an apparent habit effect where none exists, or exaggerate the scale of any real habit effect."
- lv "The overall scale of the coefficients can be biased in SP experiments, due to a variety of factors which differ between a real choice context and the best available SP experiments."
- lvi "It is fair to say that empirical evidence support the conclusion that SP methods are not only useful complements to RP method, but have consistently exhibited high levels of external and predictive validity in a variety of real world choice set."
- lvii "A significant effect emerged in the form of an additional constant term which was interpreted as an inertia effect."
- lviii "A similarity of SP and RP data was found at an overall level and was indeed observed in both cases, in terms of vot."
- lix "(...) keeping adequate record of the variables of interest allowing a sufficient time lapse to allow the effects of changes in the system to work their way through."
- lx "There is considerable evidence of external validity."
- lxi "The actual split between train and coach in the sample is 62:38, The forecast split for the SP results is 76:24 - but this is better than the split of 89:11 in the RP results"
- lxii "This suggests that the transfer prices are tending to overstate the willingness to shift mode."
- lxiii "erroneous use of this information has led to biases in the results of the analyses and as a result TP data has been used less than it might have been."
- lxiv "It will further be argued that transfer pricing should be less prone to bias (...) than some of the cruder stated intention technique."
- lxv "The statistical behaviour of competing specifications cannot be tested."
- lxvi "Individual's ranking are based on a strictly non additive (no non-additivities or interactions) function of the unknown part worth utility measures."
- lxvii "many possible specifications can produce approximately equivalent fit measures"
- lxviii "wrong specifications can produce better fit measures than right specifications in real fallible data."
- lxix "Respondents often show themselves to be inconsistent in their ordering of the options, especially with combinations ***o that are least attractive."
- lxx "accuracy with which an individual ranks options may decline with the decreased attractiveness of the options."
- lxxi "However the increase in accuracy becomes more expensive in data terms. Moving from depth two to depth 7 increases the number of observation by a factor of 7/2, but the standard errors only fall by an average factor of 1.5 compared with the factor of 1.9 ($\sqrt{3.5}$) which we would expect if the extra data was independent."
- lxxii "the estimates obtained by using these assumed probabilities for the values of time and the money value of the alternative specific constant were similar to those obtained from the discrete choice approach."
-

-
- lxxiii "The estimated binary logit models produced not only different but clearly worse modelling results both in terms of accuracy of the parameters estimates and general goodness of fit."
- lxxiv "Adamowicz et al [1998] propongono un range possibile compreso fra 1 et 32 scelte per individuo intervistato, Hanley et al [1998] suggeriscono un massimo di 8 scelte per individuo ; Kroes et Sheldon [1988] suggeriscono invece di limitare i profili fra 9 e 16."
- lxxv "A fatigue effect appears to set in around the rime of the 5th response and to become higher by the time of the 12th response."
- lxxvi "Combination of ranking SP and discrete choice SP is the most attractive approach."
- lxxvii "The respondent is being asked to behave as a "quasi planner" and not as a consumer. In this role the decisions of the respondent are even more remote from real world than in SP"
- lxxviii ""-efficiency : joint estimation of preferences parameters from all available data,
-bias correction : explicit response models for SP data can include both preference and bias parameters,
-identification : estimation of trade off among attributes and the effects of new services that are not identifiable from RP data."
- lxxix "The fairly extensive experience with one of these psychological techniques, functional measurement suggests that for any particular decision the functional form of people's preferences tends to be fairly stable across the population, even though the parameters of the function may vary widely."
- lxxx "In previous studies such dummy variables always have significant coefficient estimates."
- lxxxi "Although not greatly so."
- lxxxii "Alternative specific constants are likely to have significantly different values in both models."
- lxxxiii "Hence it is recommended that the constants should be estimated separately for RP and SP models and those of the RP model should be used for prediction."
- lxxxiv RP data are viewed as the standard of comparison and SP data are seen as useful only to the extent that they ameliorate certain undesirable characteristics of RP data,
- lxxxv the value of time is strongly influenced by some SE features of the individual.
- lxxxvi "Our experiment confirmed the view that goods classifications are no longer an important means to analyse transport decisions. While we found no evidence for differences in calculation among sectors, we found high values for high quality goods, and above significant impact on long term logistics costs."
- lxxxvii "The valuation placed on alternative dimensions of transport services by logistics managers of Austrian companies differs significantly by both their regional and the industrial cluster affiliation."
- lxxxviii explanatory power of the latent class choice model for taste heterogeneity is far greater than existent approaches : introducing interaction variables between individual characteristics and attributes of the alternatives in the utility specifications and models with log-normally distributed value of time"
- lxxxix "an important limitation of this approach is that its estimation relies on the a priori assumption about the shape of the distribution, which might lead to an inferior solution in cases where the underlying distribution has a substantially different shape from the assumed distribution"
- xc "distributed v.o.t. should not be used as a substitute for explaining as much variation as possible, but rather as an extra tool for capturing variation that cannot be explained by other means"
- xc1 "a possible explanation is that customer satisfaction prevails on internal production logistics concerns."
- xc2 "In reality all production takes time"
- xc3 "It is the rate of supply, rate of production rate of consumption per unit of time that we shall be really treating."
- xc4 "doing things fast is a common theme in the best manufacturing practices and is advocated at length in the manufacturing literature".
- xcv "Commodities are indexed by i, taking into account if necessary, the time of their delivery."
- xcvi "customer's disutility for the expected time to complete the firm's service."
- xcvii "Far less can be said (with non linear constraints) than in standard theory."
- xcviii "there tends to be a negative relationship between the implicit price and quantity of a characteristics regardless of the underlying behaviour."
- xcix "accrued experience however suggests that the triangular distribution is the best distribution to derive such individual level outputs"
-