

**CHOIX MODAL ET SYSTEME LOGISTIQUE
EN TRANSPORT DE MARCHANDISES :**

**Modélisation, Analyse Economique et Prévision
du Comportement du Chargeur**

FEI JIANG

le 6 juillet 1998

THESE POUR LE DOCTORAT

OPTION : TRANSPORT

réalisée au **Service Economique et Statistique**
du **Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement**
soutenue à l'**Ecole Nationale des Ponts et Chaussées**

Directeur de Recherche : M. le Pr. Michel SAVY

Membres du Jury :

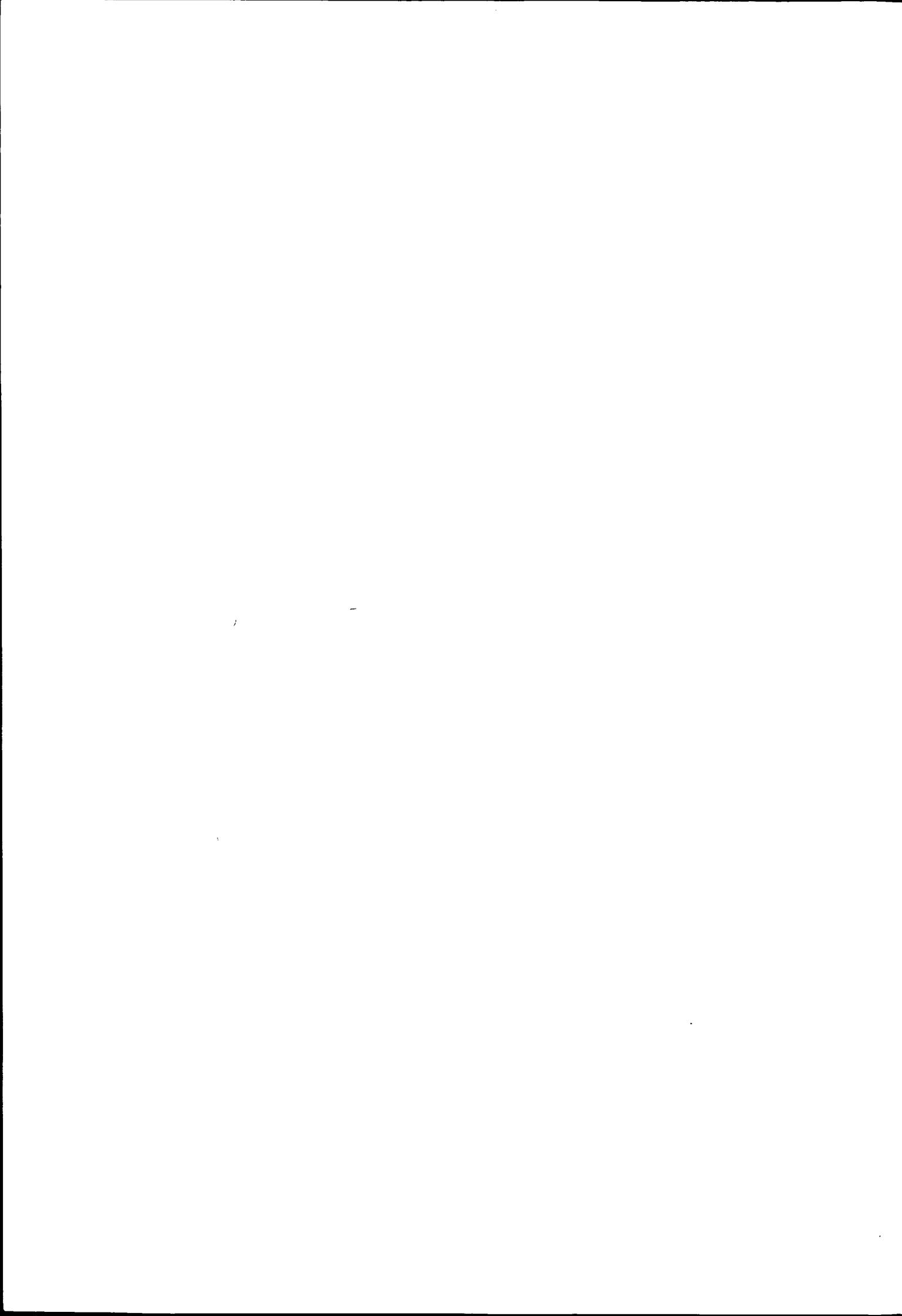
**M. Alain BONNAFOUS
M. Christian CALZADA
M. Marc GAUDRY
M. Christian REYNAUD
M. Yves ROBIN
M. Michel SAVY**

**Professeur à l'Université Lumière Lyon 2
Statisticien, SES, Ministère de Transport
Professeur à l'Université de Montréal
Directeur de Recherche à l'INRETS
Chef de Service du SES, Ministère de Transport
Professeur à l'Ecole National des Ponts et des Chaussées**



à mes parents

献给我的父母



REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à M. Michel SAVY, Professeur à l'ENPC, mon directeur de recherche, pour ses conseils précieux et avisés et la confiance qu'il a su m'accorder en m'acceptant comme élève en thèse sous sa direction.

Vient ensuite Monsieur Jean-Guy Dufour de la Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques qui a financé cette recherche dans le cadre successivement du programme de recherche SAM (M. Marc Papinutti à l'INRETS) et d'une décision d'aide à la recherche (N° 97MT20, du 24/09/97, ENPC).

Que soit également remercié M. Christian CALZADA, mon responsable de recherche au sein du DEE du Service Economique et Statistique du METL, pour son empressement à partager ses connaissances et son expérience sur le sujet, et aussi pour son soutien et sa compréhension qu'il m'a apporté.

Je remercie également Messieurs Jean-Pierre Puig (Directeur de l'OEST) et Yves Robin (Chef du SES) qui ont bien voulu m'accueillir au sein de leur service et mettre à ma disposition les moyens nécessaires à l'accomplissement de mon travail.

J'adresse mes chaleureux remerciements à tous les membres du Département des Etudes Economiques du SES et parmi eux en particulier à M.M. Yves Huart, Maurice GIRAULT, Mme GRIMA, Jean-Marc SAVIN, Gilles DUMARTIN, sans oublier Jean-Christophe BLAIN pour sa gentillesse, et sa disponibilité quand il était encore au Ministère, pour leur sympathie et leur aide pendant ces trois années de dur labeur.

Je remercie M. Alain BONNAFOUS, Professeur à l'Université Lumière Lyon 2, M. Marc GAUDRY, Professeur à l'Université de Montréal, M. Christian REYNAUD, Directeur de Recherche à l'INRETS qui m'ont fait l'honneur d'accepter de bien vouloir évaluer cette recherche.

Enfin, je suis éternellement reconnaissant à ma femme et à ma famille, pour leur encouragement constant durant toute cette période.

RESUME

Le choix modal du transport de marchandise dépend des caractéristiques de demande et d'offre de transport. A coté de la demande de transport, le développement du système logistique constitue un facteur très important. En ce qui concerne l'offre de transport, le temps de transport et le prix de transport sont des facteurs importants du choix modal. Cette thèse vise donc à comprendre les facteurs sous-jacents au développement des transports de marchandises, à l'aide de modèles de choix discrets désagrégés, en vue d'analyser ainsi les effets des caractéristiques de la demande et de l'offre sur le choix modal du transport de marchandise entre la route, le fer, le transport combiné et le transport privé. Avec les résultats de modélisation, les élasticités aux variables logistiques et les valeurs du temps selon les groupes de chargeurs et les modes de transport sont calculées. Enfin, selon les hypothèses sur les changements des facteurs logistiques et des facteurs d'offres, une discussion sur les perspectives de choix modal en transport de marchandises est présentée.

ABSTRACT

The mode choice of freight transport depends on transport demand and supply characteristics. In the side of transport demand, the development of firm's logistic system is a very important factor. With regard to transport supply, transport time and cost are significant factors for mode choice. This thesis thus aims to understand the factors behind the development of freight transport by using disaggregate discrete choices models, in order to analyse the effects of transport demand and supply characteristics on the freight mode choice between road, rail, combined transport and private transport. With the results of modelling, the elasticities to logistic variables and the values of time according to shipper's characteristics and transport modes are calculated. By the end, according to the hypothesis on the change of demand and supply factors, a discussion on the prospects for freight mode choice is presented.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	iv
Liste des figures.....	xii
Liste des tableaux.....	xiv

INTRODUCTION GENERALE.

1. Contexte de la Recherche.....	1
2. Besoins de la recherche	2
3. Objectifs de la Thèse	3
4. Plan de la Thèse.....	4

CHAPITRE 1. PROBLEMES DE CHOIX MODAL EN TRANSPORTS DE MARCHANDISES

1.1. Evolution du partage modal en France.....	5
1.2 Répartition modale des produits	7
1.2.1 Produits métallurgiques ferreux.....	7
1.2.2 Biens de consommation et commerce de gros.....	7
1.2.3. Tous types de produits.....	8
1.3. Répartition du trafic par chapitre NST.....	9
1.4. Evolution du trafic en transport combiné.....	10
1.5. Répartition modale selon la distance de transport.....	11
1.6. Problème du choix modal de fret.....	12
Conclusion.....	15

CHAPITRE 2. CHOIX MODAL : MODELISATION ET ETAT DE L'ART EN TRANSPORT DE MARCHANDISES

2.1 Modélisation du choix modal.....	16
2.2. Développement du modèle de réseau.....	18
2.2.1. Le Modèle d'équilibre de réseau.....	18
2.2.2. Le Modèle d'équilibre de prix spatial.....	20

2.2.3. Le Modèle d'équilibre de prix spatial généralisé.....	22
2.3. Développement du modèle de choix modal discret.....	23
2.3.1. Modèle de choix agrégé.....	23
2.3.2. Modèle de choix désagrégé.....	25
2.4. Valeurs du temps et choix modal.....	28
2.5. Agrégation des modèles et prévision de choix modal.....	31
2.5.1. Méthode d'énumération complète.....	31
2.5.2. Méthode d'agrégation directe.....	31
2.5.3. Méthode TALVITE.....	32
2.5.4. L'intégration explicite.....	33
2.5.5. L'énumération d'échantillon aléatoire.....	33
2.5.6. Segmentation du marché.....	34
2.6. Problématique.....	35
2.6.1. Sélection des modèles.....	36
2.6.2. Caractéristiques de la demande et de l'offre.....	37
2.6.3. Valeur du temps.....	37
2.6.4. Méthode d'agrégation.....	38
Conclusion.....	40

CHAPITRE 3. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

3.1. Système logistique et choix modal.....	41
3.2. Le processus de modélisation.....	42
3.3. Agrégation des modèles.....	46
3.4. Interprétation des modèles.....	47
3.4.1. Utilités marginales.....	47
3.4.2. Probabilités marginales	48
3.4.3. Elasticités.....	49
3.4.4. Valeur du temps.....	49
Conclusion.....	50

CHAPITRE 4. SYSTEME LOGISTIQUE ET CHOIX MODAL

4.1. Activités Logistiques des Entreprises.....	51
4.1.1. Les Activités de planification.....	52

4.1.2. Les Activités de marché	52
4.1.3. Les Activités de production et de distribution.....	53
4.2. Développement du système logistique.....	53
4.2.1. Concentration de production et de distribution.....	54
4.2.2. Des points de stockage moins nombreux.....	55
4.2.3. Sous-traitance.....	55
4.2.4. Flux tendus.....	55
4.2.5. Traitement de l'information.....	56
4.2.6. Protection des produits.....	56
4.3. Nouveau système logistique et demande de transport.....	56
4.3.1 Nouvelles caractéristiques de la demande de transport.....	57
4.3.2. Nouvelles exigences de qualité de service.....	59
4.4. Comportement de Choix Modal.....	60
4.4.1. Processus de choix modal.....	60
4.4.2. Les facteurs influençant le choix modal.....	62
Conclusion.....	63

CHAPITRE 5. CONSTRUCTION DE LA BASE DE DONNEES

5.1. Enquête Auprès des Chargeurs de l'INRETS.....	65
5.2. Construction de l'Enquête.....	66
5.2.1. Questionnaire établissement.....	66
5.2.2. Questionnaire envoi.....	67
5.2.3. Questionnaire intervenant et trajet.....	67
5.2.4. Modes de transports concernés.....	68
5.3. Structure des observations.....	68
5.4. Les variables explicatives disponibles dans l'Enquête.....	69
5.4.1. Caractéristiques des entreprises.....	69
5.4.2. Caractéristiques des expéditions.....	71
5.4.3. Qualité de service de transport.....	72
5.4.4. Résumé des variables explicatives.....	73
5.5. Méthode d'estimation des prix et des temps.....	73
5.5.1. Observations censurées de prix et de temps.....	74
5.5.2. Modèle Tobit : Méthode d'Heckman.....	74
5.6. Estimation du prix de transport.....	76
5.7. Estimation du Temps de Transport.....	77

5.7.1. Transformation du Temps en Jours, en Temps en Heures.....	78
5.7.2. Résultats de l'Estimation du Temps.....	79
5.7.3. Base de Données pour l'Estimation des Valeurs du Temps.....	81
Conclusion.....	82

CHAPITRE 6. LES MODELES DE CHOIX DISCRETS ET LEUR ESTIMATION

6.1. Formule mathématique des modèles	83
6.1.1 Fondement théorique.....	83
6.1.2. Modèle logit multinomial.....	86
6.1.3. Modèle logit avec paramètres aléatoires.....	86
6.1.4. Modèle logit emboîté.....	87
6.1.4.1 modèle logit conjoint.....	88
6.4.1.2. modèle logit emboîté.....	89
6.1.5. Modèle probit multinomial.....	90
6.1.6. Modèle probit avec noyau logit.....	91
6.2. Estimation des modèles.....	93
6.2.1. Estimation du modèle logit.....	93
6.2.2. Estimation du modèle logit emboîté.....	94
6.2.3. Estimation du modèle probit.....	95
6.2.4. Estimation de modèle MNP avec noyau logit.....	98
6.3. Test de Significativité statistique.....	99
6.3.1. Statistique de t.....	99
6.3.2. Mesure de la qualité des estimations	99
Conclusion.....	100

CHAPITRE 7. RESULTATS D'ESTIMATIONS, AGREGATION ET VALIDATION

7.1. Modèle logit emboîté.....	101
7.1.1. Choix entre trajet unique et trajet multiple.....	102
7.1.2. Choix entre route, fer et combiné	103
7.1.3. Choix entre transport public et privé.....	105
7.2. Modèle logit multinomial.....	108
7.3. Modèle logit binaire conditionnel.....	109
7.4. Modèle MNL conditionnel.....	110

7.5. Segmentation du marché des marchandises.....	110
7.6. Validation des modèles.....	114
7.6.1. validation du modèle logit emboîté.....	116
7.6.2. validation du modèle conditionnel.....	117
Conclusion.....	117

CHAPITRE 8. LES EFFETS DU SYSTEME LOGISTIQUE SUR LE CHOIX MODAL

8.1. Résultats de l'interprétation des modèles multinomial.....	119
8.1.1. Méthodes.....	119
8.1.2. Résultats.....	121
8.2. Le rôle des facteurs logistiques discrets dans le choix modal.....	124
8.2.1. Le classement des variables dans le choix modal.....	124
8.2.2. Les préférences des variables pour le choix modal.....	125
8.2.3. L'importance des variables pour le choix modal.....	128
8.2.3.1. L'importance des variables pour le choix entre quatre modes.....	128
8.2.3.2. L'importance des variables pour le choix entre trois modes.....	130
8.3. Le rôle des variables logistiques continues dans le choix modal.....	133
8.4. Les Effets des Variables continues sur le choix modal.....	135
8.4.1. Les effets de la distance.....	136
8.4.2. Les effets de la taille d'envoi.....	139
8.4.3. Les effets de la taille d'établissement.....	142
8.4.3. Les effets de la fréquence.....	144
8.4.4. Les effets des variables qualitatives.....	145
Conclusion.....	147

CHAPITRE 9. VALEUR DU TEMPS ET CHOIX MODAL : LES EFFETS DE L'OFFRE DE TRANSPORT

9.1. Déterminants du prix de transport.....	148
9.2. Résultat de l'interprétation des modèles conditionnels.....	153
9.3. Les rôles du temps et du prix dans le choix modal.....	155
9.4. Les effets du temps et des prix sur le choix modal.....	156
9.5. Valeur du temps et choix modal.....	159

9.5.1. Valeur du temps moyenne.....	159
9.5.2. Valeur du temps de chargeurs différents.....	161
9.5.3. Les effets des facteurs logistiques (variables continues).....	162
distance.....	163
taille d'envoi.....	164
taille d'établissement.....	165
fréquence.....	166
Conclusion.....	167

CHAPITRE 10. PERSPECTIVES DU CHOIX MODAL

10.1. Développement des facteurs logistiques depuis 1988.....	168
10.2. Mise en oeuvre du modèle en 1996.....	171
10.2.1. Calibrage du modèle pour l'année 1996.....	171
10.2.2. Elasticités.....	172
10.3. Tendances du partage modal sans intervention de l'Etat.....	178
10.4. Politique de transport et nouveau système ferroviaire	179
Infrastructure.....	179
Transport combiné.....	180
Système information.....	181
Temps de transport.....	181
Prix de transport.....	182
Fiabilité et Flexibilité.....	183
10.5. Scénarios : politique de transport et perspectives du choix modal.....	183
Conclusion.....	187

CONCLUSION GENERALE

1. Les contributions de la thèse.....	189
2. Découvertes principales de la thèse.....	191
3. Des opportunités de recherches à l'avenir.....	194

BIBLIOGRAPHIE.....	196
---------------------------	------------

ANNEXE

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1.

Graphique 1.1 Evolution des partages modaux en tonnages entre 1980-1995	5
Graphique 1.2 Evolution des partages modaux en t-km entre 1980-1995.....	6
Graphique 1.3. Evolution des partages modaux en t-km des produits métallurgiques entre 1980-1995	7
Graphique 1.4. Evolution des partages modaux en t-km d'engrais entre 1980-1995.....	8
Graphique 1.5. Partage modal en t-km en 1995 par types de produits.....	9
Graphique 1.6. Partage modal en tonnes en 1995 par types de produits.....	10
Graphique 1.7. Evolution du trafic du transport combiné entre 1986-1995.....	11

Chapitre 3

Graphique 3.1. Système logistique et décision de choix modal.....	42
Graphique 3.2. Processus de choix modal traité dans la thèse.....	44
Graphique 3.3. Processus de modélisation utilisé dans la thèse.....	46

Chapitre 4

Graphique. 4.1. Les facteurs logistiques influençant le choix modal.....	64
--	----

Chapitre 5

Graphique 5.1. Le schéma des relations entre la durée de transport en heures et en jours.....	79
---	----

Chapitre 7

Graphique 7.1 Validation du modèle conditionnel.....	117
--	-----

Chapitre 8

Graphique 8.1. Les préférences de choix modal des facteurs logistiques discrets.....	125
Graphique 8.2. Importances des variables discrètes pour le choix entre quatre modes.....	127

Graphique 8.3. Importance des variables discrètes pour le choix entre trois modes.....	129
Graphique 8.4. Importance des variables discrètes pour le choix entre route et combiné.....	131
Graphique 8.5. Importance des variables discrètes pour le choix entre trajet unique et multiple.....	131
Graphique 8.6. Importance des variables logistiques continues.....	133
Graphique 8.7. Importance des variables continues pour le choix entre trois modes.....	134
Graphique 8.8. Effets de la distance sur le choix entre quatre modes.....	135
Graphique 8.9. Effets de la distance sur le choix modal des envois à l'international.....	136
Graphique 8.10. Effets de la distance sur le choix modal des chargeurs accédant au fer.....	137
Graphique 8.11. Effets de la distance sur le choix modal des magasins et des entrepôts	137
Graphique 8.12. Effets de la taille (petits envois) sur le choix modal	138
Graphique 8.13. Effets de la taille (grands envois) sur la choix modal.....	139
Graphique 8.14. Effets de la taille des envoi sur le choix modal des chargeurs accédant au fer.....	139
Graphique 8.15. Effets de la taille des petits envois sur le choix modal des chargeurs accédant au fer..	140
.....	
Graphique 8.16. Effets de la taille des envois sur le choix modal des chargeurs accédant au fer et à	
longue distance.....	141
Graphique 8.17. Effets de la taille d'établissement sur le choix modal.....	141
Graphique 8.18. Effets de la taille d'établissement sur le choix modal des chargeurs accédant au fer....	
.....	142
Graphique 8.19. Effets de la taille d'établissement sur le choix modal des envois à l'international..	142
Graphique 8.20. Effets de la fréquence d'envoi.....	143
Graphique 8.21. Effets de la fréquence d'envoi sur des chargeurs accédant au fer	144
Graphique 8.22. Effets de l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire sur le choix modal.....	145
Graphique 8.23. Effets de l'accessibilité ferroviaire sur le choix modal des envois à longue distance...	
.....	145

Chapitre 9

Graphique 9.1. Effets de la distance sur les prix de transport.....	149
Graphique 9.2. Effets de la taille d'envoi sur les prix de transport.....	150
Graphique 9.3. Effets de la fréquence d'envoi sur les prix de transport	151
Graphique 9.4. Effets de la distance sur les prix de transport d'un envoi à l'international.....	152
Graphique 9.5. Effets de la taille d'envoi sur les prix de transport d'un envoi à l'international.....	152
Graphique 9.6. Elasticité des partages modaux au prix et au temps.....	155
Graphique 9.7. Effets du prix ferroviaire sur la probabilité de choix.....	157

Graphique 9.8. Effets du temps ferroviaire en pourcentage du temps routier sur la probabilité de choix	157
Graphique 9.9. Effets du prix ferroviaire en pourcentage du prix routier sur la probabilité de choix	158
Graphique 9.10. Effets des temps ferroviaire et routier sur la probabilité de choix.....	159
Graphique 9.11. Effets de la distance sur la VDT.....	164
Graphique 9.12. Effets de la taille d'envoi sur la VDT.....	165
Graphique 9.12. Effets de la taille d'établissement sur la VDT.....	166
Graphique 9.13. Effets de la fréquence sur la VDT.....	167

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau 1.1. L'évolution de la part ferroviaire en tonnes-kilomètres entre 1980-1995.....	9
Tableau 1.2. L'évolution de la part des produits différents en t-km selon la NST.....	10
Tableau 1.3. Répartition modale du trafic de marchandises (t-km) en 1992.....	12

Chapitre 5

Tableau 5.1. Structure de la base de données.....	69
Tableau 5.2. Nombre d'observations selon les types de produits.....	69
Tableau 5.3. Facteurs logistiques au sein de la base de données.....	73
Tableau 5.4. Structure de la base de données pour analyser les effets de l'offre.....	81

Chapitre 7

Tableau 7.1. Modèle de choix entre trajet unique et multiple.....	102
Tableau 7.2. Modèle emboîté de choix entre route, fer et combiné.....	104
Tableau 7.3. Modèle emboîté de choix entre transport public et privé.....	106
Tableau 7.4. Modèle multinomial entre quatre modes.....	108
Tableau 7.5. Modèle conditionnel d'offre pour deux modes.....	109
Tableau 7.6. Modèle conditionnel d'offre pour trois modes.....	110
Tableau 7.7. Segmentation selon la NST.....	113
Tableau 7.8. Segmentation selon le conditionnement.....	113
Tableau 7.9. Segmentation selon la distance.....	114
Tableau 7.10. Segmentation selon la taille d'envoi.....	114
Tableau 7.11. Poids moyen d'envoi et distance moyenne	115
Tableau 7.12. Validation du modèle emboîté.....	116

Chapitre 8

Tableau 8.1. Effets marginaux des variables explicatives sur les utilités.....	121
Tableau 8.2. Effets marginaux des variables explicatives sur les probabilités.....	122
Tableau 8.3. Classement des facteurs logistiques influençant le choix modal	124

Chapitre 9

Tableau 9.1. Facteurs logistiques influençant les prix de transport.....	148
Tableau 9.2. Effets marginaux du temps et du prix sur les probabilités.....	154
Tableau 9.3. Valeurs du Temps Moyennes en 1988.....	159
Tableau 9.4. Valeurs du Temps Moyennes en 1996.....	160
Tableau 9.4. Comparaison des valeurs du temps.....	160
Tableau 9.5. Distribution de la valeur du temps selon les caractéristiques des chargeurs.....	161
Tableau 9.6. Distribution de la valeur du temps selon les variables continues.....	162

Chapitre 10

Tableau 10.1. Valeurs moyennes des variables logistiques en 1988.....	168
Tableau 10.2. Valeurs moyennes des facteurs d'offre en 1988.....	169
Tableau 10.3. Evolution des facteurs logistiques sur la période 1988-1996.....	170
Tableau 10.4. Taille moyenne d'envoi en 1996.....	171
Tableau 10.5. Valeurs moyennes des facteurs logistiques en 1996.....	171
Tableau 10.6. Mise en œuvre du modèle en 1996	172
Tableau 10.7. Elasticités du trafic routier aux facteurs de demande.....	173
Tableau 10.8. Elasticités du trafic ferroviaire aux facteurs de demande.....	173
Tableau 10.9. Elasticités du trafic combiné aux facteurs de demande.....	177
Tableau 10.10. Elasticités du trafic routier au temps et au prix.....	177
Tableau 10.11. Elasticités du trafic ferroviaire au temps et au prix.....	178
Tableau 10.12. Elasticités du trafic combiné au temps et au prix.....	178
Tableau 10.13. Scénario 'liberté' pour l'évolution des facteurs logistiques en 2020.....	181
Tableau 10.14. La tendance 'liberté' du partage modal en 2020.....	181
Tableau 10.15. Scénarios 'maîtrisé' d'évolution des facteurs logistiques en 2020.....	185
Tableau 10.16. Partage modal en 2020 selon le scénario A.....	185
Tableau 10.17. Partage modal en 2020 selon le scénario B.....	186
Tableau 10.18. Partage modal en 2020 selon le scénario C.....	186
Tableau 10.19. Partage modal en 2020 selon le scénario D.....	187

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte de la Recherche

Depuis la deuxième guerre mondiale, le transport routier devient de plus en plus dominant dans le mouvement de marchandises en France comme dans tous les pays développés. En général on assiste à un transfert du fer à la route. Par exemple, en 1980, la part modale du fer atteignait 29% du trafic total en tonnes kilomètres, mais en 1996 cette part n'était plus que de 20% du trafic total en tonnes kilomètres, cela signifie que depuis vingtaine années le chemin de fer est en train de perdre des parts de marché en transport de marchandises à un taux annuel moyen de 0.75% au marché total de marchandise (SITRAM 1980-1996).

Le succès du transport routier a conduit à des effets externes négatifs importants. L'opinion publique est de plus en plus sensibilisée au danger que représentent les poids lourds, en raison d'accidents meurtriers et spectaculaires. Chaque année, 15 % des accidents corporels routiers concernent des poids lourds qui ne représentent eux-mêmes que 5 % de l'ensemble des trafics (ECMT, 1994). En ce qui concerne la pollution, le trafic routier est responsable de la pollution atmosphérique dans une large mesure, sans parler de la consommation d'énergie où le transport routier est moins efficace, comparé au rail ou à la voie d'eau.

Par ailleurs, le transport routier est aussi victime de son trop grand succès, une congestion routière de plus en plus importante conduire à transports routiers moins fiables. Le développement du transport routier a donc conduit à des exigences croissantes en matière d'infrastructures, cela a eu aussi des effets importants sur l'aménagement car il a réduit progressivement les espaces verts et la disponibilité de l'espace de la vie quotidienne.

Etant donné les effets négatifs du transport routier, plusieurs pays ont menés des politiques de réglementation en vue de ralentir la croissance de la route et encourager le développement des autres modes, principalement le transport ferroviaire. En effet, le transport ferroviaire s'avère plus avantageux pour la collectivité. Mais, les aspects négatifs de ces politiques comme l'absence de concurrence sur les prix, l'encouragement du transport pour

compte propre, moins économique etc., ont incité certains gouvernements à mettre en place une procédure de déréglementation des transports.

Cependant, la déréglementation ne signifie pas l'abandon de toute intervention de l'Etat, les effets négatifs de la route existent toujours. La promotion de modes de transport moins agressifs pour l'environnement et plus avantageux pour l'aménagement est encore un des domaines d'action gouvernementale. Cette promotion ne sera plus faite par la limitation d'accès au marché du transport routier mais par l'amélioration de l'efficacité du système de transport ferroviaire en offrant une meilleure qualité de service.

2. Besoins de la recherche

Le transport de marchandise est une activité intermédiaire dans le processus d'approvisionnement, de production et de distribution des produits, il représente un des composants essentiels de la logistique d'entreprise dont le but est d'assurer la synchronisation des différentes phases d'élaboration du produit jusqu'au stade de la consommation finale. En raison des avantages et inconvénients de chaque mode de transport, le choix du mode de transport constitue toujours un problème très important pour les entreprises, cette décision de choix modal n'est généralement pas prise pour chaque consigne individuelle, mais intégrée comme une étape de la planification stratégique. Elle est influencée non seulement par les changements des modes de transport mais aussi par le système logistique des entreprises. Etant donné le développement économique, la concurrence de plus en plus forte, des nouveaux systèmes logistiques où la chaîne de transport devient de plus en plus complexe, est progressivement introduite dans le système de production et de distribution et exige donc une qualité de service de transport plus élevée. Dans ce cas-là, le transport routier peut offrir aux entreprises, dans de nombreux cas, la meilleure solution transport, en raison de son niveau de flexibilité et de la bonne qualité de service, à un coût raisonnable.

Ainsi, un transfert du trafic de marchandises de la route au fer dépend du développement des systèmes logistiques à l'avenir et de leur influence sur les comportements de choix modal des entreprises, d'autre part, elle dépend aussi de la capacité du fer à offrir des services aussi flexibles et fiables que le transport par route. Malheureusement jusqu'à maintenant, ce point n'a été que très peu abordé dans la littérature sur le sujet.

Pour étudier les comportements de choix modal en transport de marchandises, une des méthodes majeures consiste à modéliser les comportements de choix modal et à examiner les conséquences d'une modification de l'offre de transport sur le choix modal. Dans ce contexte, un développement important a été l'introduction des modèles de choix discrets désagrégés, citons pour exemple : le modèle logit multinomial (MNL) et le modèle probit multinomial (MNP). Cependant, en raison d'un manque récurrent de bases de données et la complexité de la réalisation de ce type d'enquêtes sur ce problème, il n'existe aucun modèle de choix discrets qui analyse systématiquement les influences du système logistique des chargeurs sur le choix modal en transports de marchandises, bien qu'il existe beaucoup de modèles qui analysent les influences de l'offre de transport sur les comportements de choix en utilisant des données en préférences déclarées et révélées. En particulier, l'on constate un retard de la France sur les autres pays industrialisés en termes de techniques utilisées. Il n'existe aucun modèle de choix discrets désagrégés ayant été établi pour le choix entre la route, le fer, le transport combiné et le transport privé. Ainsi, une analyse sur les comportements de choix modal des entreprises ainsi que les influences du système logistique et de l'offre de transport sur le choix modal des chargeurs s'avère nécessaire.

3. Objectifs de la Thèse

Pour remplir le blanc de ce domaine en France, en utilisant le modèle de choix discrets désagrégés, cette thèse se consacre à l'analyse des comportements de choix modal des chargeurs, et surtout à l'analyse des influences du système logistique et d'offre de transport sur ces comportements. Son objectif est d'examiner, dans un contexte global et multimodal, les possibilités d'amélioration de l'efficacité du système de transport ferroviaire de marchandises et possibilité de transfert des trafics de la route au fer en vue de réduire les effets négatifs externes et le volume d'infrastructures routières nécessaire. Elle essaie donc de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les relations entre développements du système logistique, demande de transport de marchandises et comportements de choix modal des chargeurs ? Comment les modéliser ?

- Comment le système logistique influencent-il la décision de choix modal des chargeurs ? Quels sont les facteurs les plus importants ? Comment les chargeurs évaluent-ils le temps de transport en terme monétaire ?
- Quelles sont les perspectives du choix modal au vu des développements prévisibles des systèmes logistiques et des services de transport ? Est-ce qu'il existe une possibilité de transfert des trafics de la route au fer et au transport combiné ?

4. Plan de la Thèse

Le Chapitre 1 analysera le problème du partage modal en France en comparant la tendance du partage modal depuis ces vingt dernières années, particulièrement pour les produits les plus importants pour le choix modal. Le Chapitre 2 présente l'état de l'art dans le domaine de la modélisation du choix modal de marchandises, cela concerne les modèles de choix discrets désagrégés à utiliser, les facteurs influençant le choix modal, le concept de valeur du temps et la méthode d'agrégation de résultats. Lors du Chapitre 3, la méthode de recherche utilisée dans la thèse sera abordée. Chapitre 4, l'on discutera du développement des systèmes logistiques et de leur influences sur le choix modal. Le Chapitre 5 présentera la base de données utilisée pour la modélisation (variables explicatives et modes de transports retenus, structure des observations), en particulier la méthode d'estimation du temps et du prix de transport sera présentée. Au Chapitre 6 on abordera les caractéristiques des modèles de choix discrets désagrégés, leur estimation et leur application. Le Chapitre 7 présentera les résultats de la modélisation et validera ces résultats en utilisant les données de la banque SITRA-M en segmentant le marché. Le Chapitre 8 analysera les effets du système logistique sur le choix modal et les évolutions des probabilités de choix au regard des variables explicatives. Le Chapitre 9 traitera des effets du temps et du prix de transport sur le choix modal, la valeur du temps sera calculée selon les caractéristiques logistiques et pour chaque mode de transport, des relations mathématiques entre les valeurs du temps et les variables logistiques continues seront discutées. Le Chapitre 10 analysera les perspectives de choix modal à l'avenir, le modèle sera mis en oeuvre en 1996 et les élasticités moyennes seront calculées. Selon différents scénarios logistique et transport, le partage modal en 2020 sera prévu par le modèle.

CHAPITRE 1

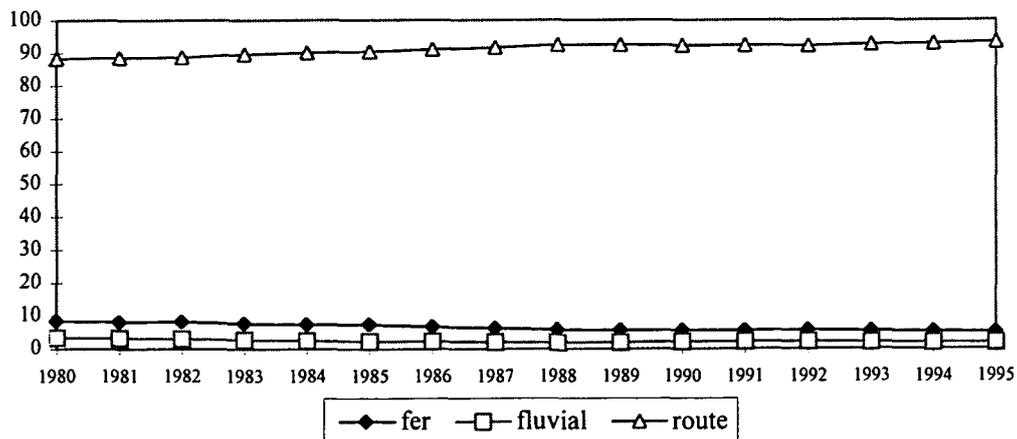
PROBLEME DE CHOIX MODAL EN TRANSPORTS DE MARCHANDISES

Pour analyser le choix modal en transport de marchandises, il convient tout d'abord d'analyser la situation actuelle du partage modal en France et les problèmes existants. Ce chapitre analysera la tendance de la répartition modale des trafics de marchandises et les problèmes de choix modal selon les différents types de produits. Ensuite, comme solution alternative, la perspective du développement du transport combiné est soulignée, pour les produits les plus importants où il existe des possibilités de transfert des trafics de la route au fer et au combiné.

1.1. Evolution du Partage Modal en France

Depuis les années 80, la répartition entre les modes en France a considérablement évolué en fonction des progrès de productivité respectifs des divers modes de transport. Le mode fluvial a vu son trafic régresser comme celui du mode ferroviaire au profit du mode routier. Le graphique suivant représente les tonnes transportées par les différents modes de transport depuis 1980. La part de la route augmente progressivement et représente en 1995 93,3 % du tonnage total, contre 4,9 % au rail et 1,8 % au transport par voies navigables.

GRAPHIQUE 1.1 EVOLUTION DES PARTAGES MODAUX
EN TONNAGES ENTRE 1980-1995

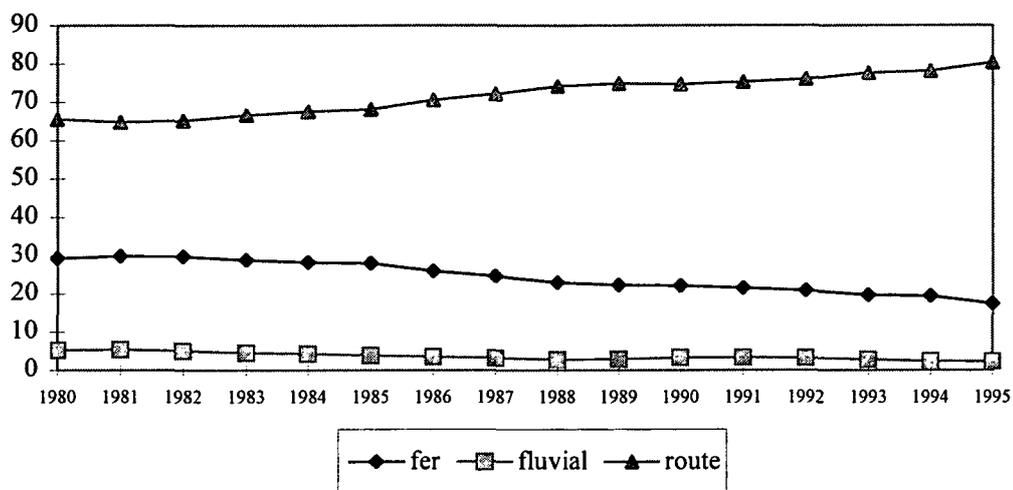


source: SITRA-M

En ce qui concerne les trafics en tonnes kilomètres, par rapport aux trafics en tonnes, la part de la route s'accroît plus vite, elle est passée de 65,6% en 1980 à 74,7% en 1990 pour finalement représenter plus de 80% du transport continental en 1995 contre 17,4% au rail et 2,3 au transport par voies navigables.

L'analyse de la répartition modale du volume de transport, montre que la part prise par la route dans le transport total ne cesse de progresser au cours des ans, cela confirme la prédominance du transport routier.

GRAPHIQUE 1.2 EVOLUTION DES PARTAGES MODAUX
EN T-KM ENTRE 1980-1995



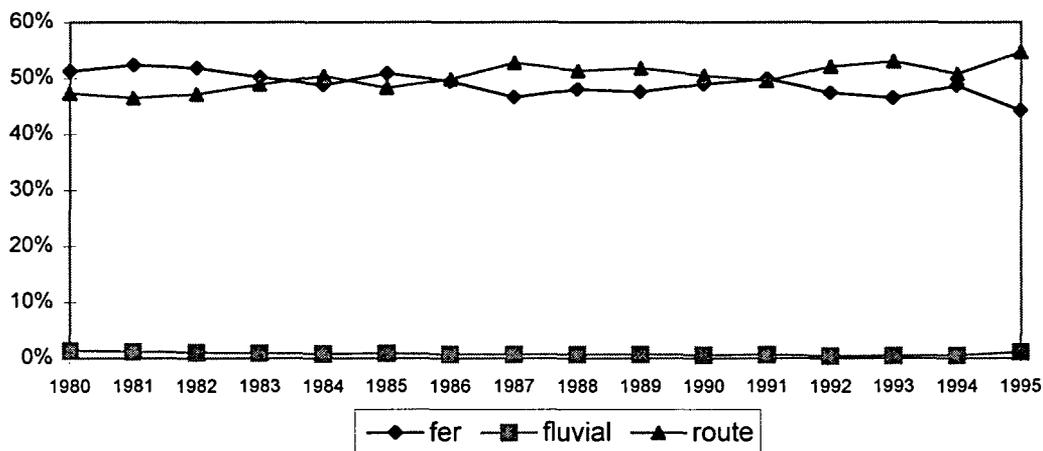
source: SITRA-M

1.2 Répartition Modale des Produits

1.2.1 Produits Métallurgiques Ferreux

Pour les marchandises en vrac traditionnelles comme les produits métallurgiques ferreux (acier), le transport ferroviaire conserve des trafics significatifs, plus de la moitié de ses trafics, bien que ces produits ne représentent que 5% de l'ensemble du marché en 1995. Le phénomène de concentration de la production a permis l'introduction d'équipements de manutention de haute capacité, le coût à l'unité et de l'infrastructure ferroviaire peuvent être donc très bas. Le graphique suivant représente l'évolution de ce type de produit.

GRAPHIQUE 1.3. EVOLUTION DES PARTAGES MODAUX EN T-KM
DES PRODUITS METALLURGIQUES ENTRE 1980-1995



Source : SITRA-M

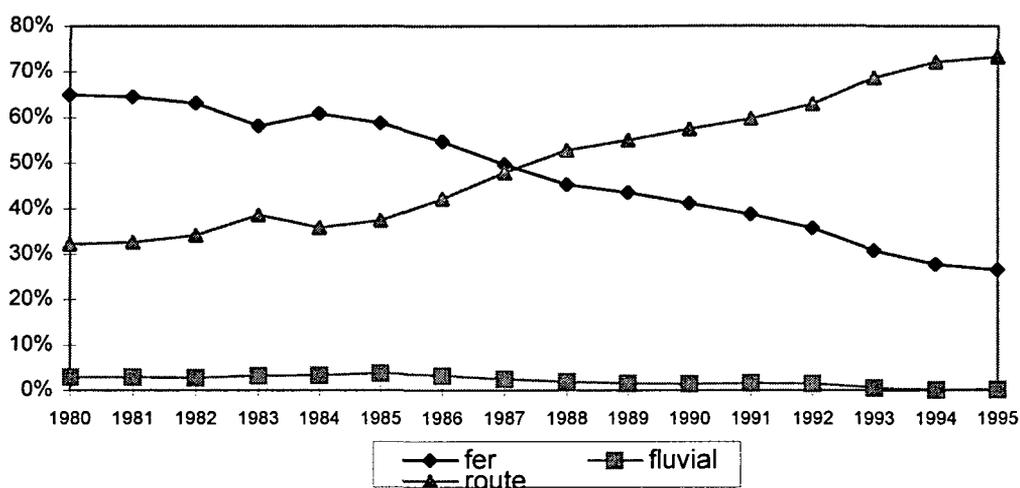
Cependant, depuis les années 80, l'industrie lourde a connu une diminution très forte de son activité, l'opportunité d'un recours plus intensif du mode ferroviaire s'est faite moins ressentir, le trafic ferroviaire a donc diminué progressivement, sans que cela change considérablement la part de chaque mode de transport.

1.2.2 Biens de Consommation et Commerce de Gros

D'autre part, dans les secteurs des biens de consommation et du commerce de gros, les changements dans les techniques de distribution se sont faits plus rapidement. Les entreprises ont essayé de minimiser le coût total de production et d'approvisionnement au lieu de chercher seulement le moyen de transport le moins cher. Ainsi, le transport des biens de consommation doit être traité comme une partie de la chaîne d'approvisionnement, qui

demande généralement une qualité de service de transport non seulement pour la consommation de produits mais aussi pour l'approvisionnement en matières premières et consommations intermédiaires, afin de minimiser les stocks au sein de l'ensemble de la chaîne de production. Le graphique suivant représente l'évolution du trafic d'engrais ; on constate que le transport routier devient de plus en plus dominant. Bien que le fer obtienne aussi des trafics, la part du fer diminue de 65% à 27%.

GRAPHIQUE 1.4. EVOLUTION DES PARTAGES MODAUX EN T-KM
D'ENGRAIS ENTRE 1980-1995



Source : SITRA-M

1.2.3. Toutes Types de Produits

Le tableau ci-après représente les évolutions du trafic ferroviaire pour tous les types de produits. On remarque que les produits combustibles et métallurgiques conservent des parts modales du fer stables, par contre la part modale du fer pour les engrais et minerais diminue très fortement. Quant au reste des produits qu'ils constituent la plupart de trafic de marchandise, la part du fer est toujours inférieure à celle de la route et diminue progressivement d'environ 8%.

En ce qui concerne le transport fluvial, pour le marché des produits en vrac, il tient une place relativement importante et diminue progressivement notamment pour les combustibles (de 44% à 18,2%), et les produits pétroliers (13% à 5,6%). En outre cette part du fluvial reste stable (6,7%) pour les matériels de construction.

**TABLEAU 1.1 L'ÉVOLUTION DE LA PART FERROVIAIRE
EN TONNE-KILOMETRES ENTRE 1980-1995**

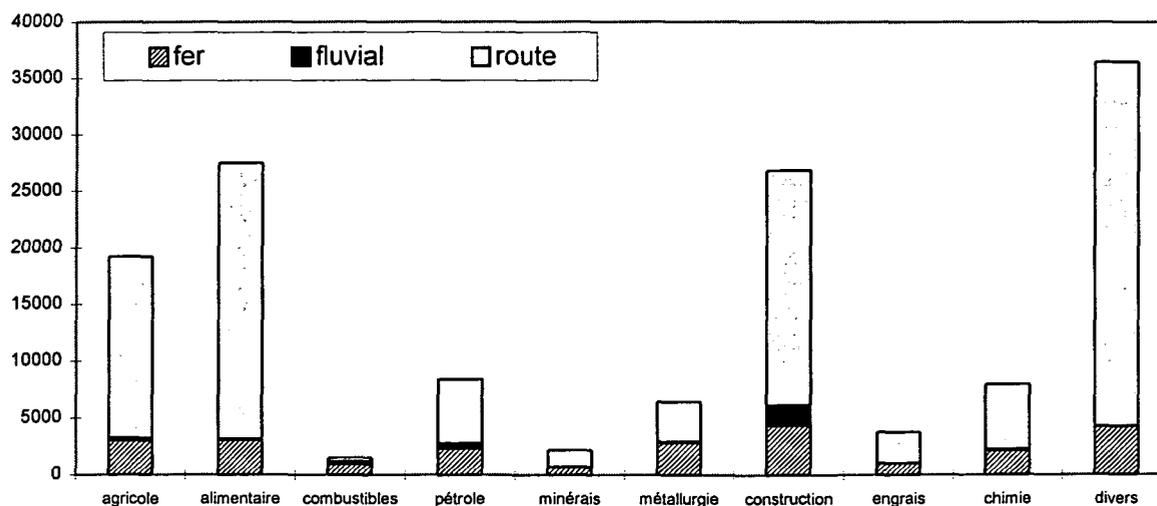
CHAPITRES	1980	1985	1988	1990	1995
0 Agricole	27%	26%	21%	21%	16%
1 Alimentaire	19%	18%	15%	16%	11%
2 Combustible	73%	72%	75%	69%	75%
3 Pétrole	42%	42%	35%	40%	29%
4 Minerais	72%	57%	42%	39%	30%
5 Métallurgie	52%	51%	48%	49%	45%
6 Construction	25%	23%	20%	19%	17%
7 Engrais	67%	61%	46%	42%	27%
8 Chimie	36%	40%	32%	30%	27%
9 Divers	20%	19%	15%	14%	12%
Total	31%	29%	24%	23%	18%

Source : SITRA-M

1.3. Répartition du Trafic par Chapitre NST

Les graphiques suivants indiquent les répartitions modales des trafics en tonnes-kilomètres en 1995 par chapitre NST. On observe que les produits agricoles et animaux vivants, les denrées alimentaires et fourrages, les matériels de construction, les produits chimiques, les matériels de transport et agricoles, les machines et articles métalliques et autres articles manufacturés constituent 85% de trafic de marchandises en tonnes-kilomètres ; pour le transport de ce type de produits la route tient une place dominante (84% en moyenne).

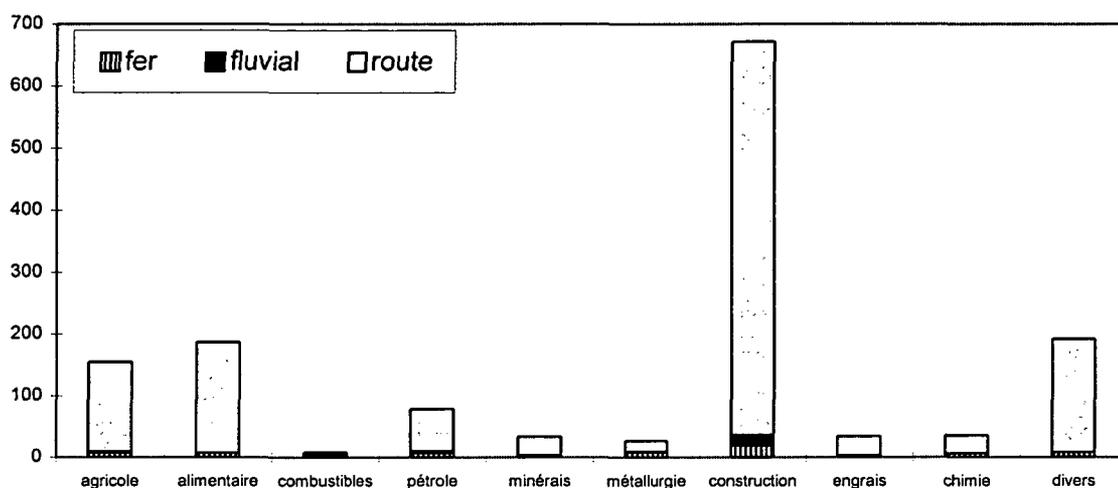
GRAPHIQUE 1.5. PARTAGE MODAL EN T-KM EN 1995 PAR TYPE DE PRODUIT



Source : SITRA-M

Le graphique suivant représente le tonnage des marchandises en 1995 par chapitre NST : les matériaux de construction tiennent 48% du marché (mais 18,4% en tonnes-kilomètres) car les distances de transport pour ce type produit sont très courtes.

GRAPHIQUE 1.6. PARTAGE MODAL EN TONNE EN 1995 PAR TYPES DE PRODUITS



source: SITRA-M

Le tableau ci-après représente les évolutions des trafics en TKM par type de produit. On observe que les trafics de produits manufacturés (divers) ont tendance à croître, alors que les trafics pour les autres types de produits restent pratiquement stables, bien que les trafics de produits agricoles et alimentaires augmentent progressivement.

**TABLEAU 1.2. L'EVOLUTION DE LA PART
DES PRODUITS DIFFERENTES EN T-KM SELON LA NST**

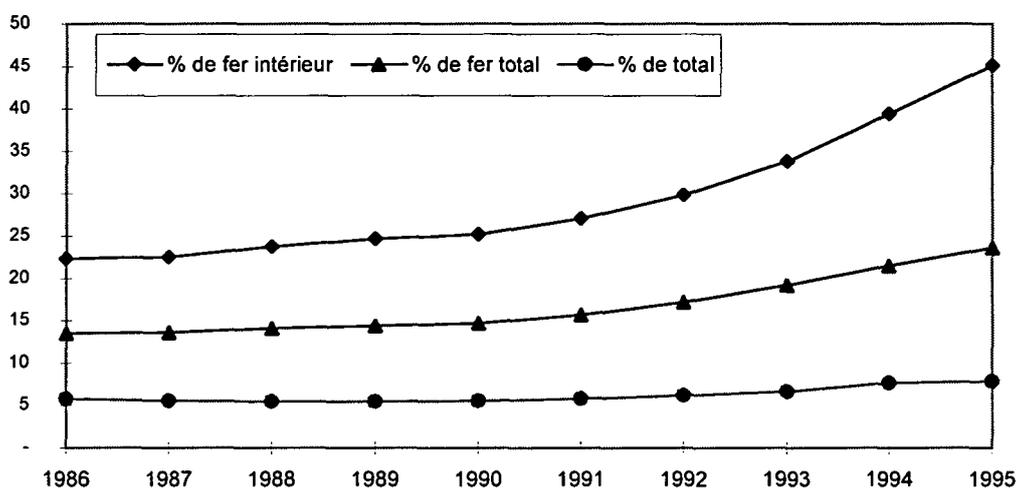
CHAPITRES	1980	1985	1988	1990	1995
0 Agricole	10%	12%	12%	12%	14%
1 Alimentaire	17%	20%	20%	20%	20%
2 Combustible	2%	2%	1%	1%	1%
3 Pétrole	8%	7%	6%	6%	6%
4 Minerais	2%	2%	1%	1%	2%
5 Métallurgie	7%	6%	6%	6%	5%
6 Construction	21%	18%	20%	20%	18%
7 Engrais	5%	4%	4%	3%	3%
8 Chimie	7%	7%	7%	7%	6%
9 Divers	21%	22%	23%	23%	27%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

source: SITRA-M

1.3. Evolution du Trafic en Transport combiné

Face à l'inévitable saturation des infrastructures routières et les problèmes environnementaux concomitants, si le mode ferroviaire pur ne constitue pas une alternative réelle, son association avec le mode routier sous forme de transport combiné pourrait être le troisième mode appelé à concurrencer la route. Le graphique qui suit reproduit l'évolution de la part du combiné par rapport au trafic ferroviaire total (intérieur, international et transit), trafic ferroviaire intérieur et au trafic total intérieur en %.

GRAPHIQUE 1.7. EVOLUTION DU TRANSPORT COMBINE ENTRE 1986-1995



source : SNCF

Le transport de containers et le ferroutage constituent les deux principaux composants du transport combiné. Pour le transport à longue distance et pour une distribution de grand volume à partir d'une source unique, le transport combiné peut offrir des services de haute qualité avec le niveau de coûts de la route. Mais bien qu'au cours de ces dernières années, le combiné fasse exception et représente une part importante des tonnages et des recettes et constitue ainsi le seul vecteur de croissance, le développement de celui-ci s'avère inférieur aux prévisions de trafics émises malgré des avantages environnementaux et d'économies d'énergie. Par rapport au trafic total intérieur, la part du combiné ne représente que 7,8% en 1995.

1.4. Répartition modale selon la Distance de Transport

On peut analyser le partage modal selon la distance de transport, le tableau ci-dessous présente les résultats pour l'année 1992. Pour le transport à moins de 50 km, la part du fer

n'est que de 1,9% au trafic total. En outre le transport à moins de 50 km tient une place très faible dans le trafic ferroviaire (0,5%). On constate que la concurrence existe surtout pour les transports à plus de 150 km.

TABLEAU 1.3. REPARTITION MODALE DU TRAFIC DE MARCHANDISES (T-KM) EN 1992

	0-50 km		50-150 km		150 km et plus		total lignes
	% colonne	% ligne	% colonne	% ligne	% colonne	% ligne	
fer	1,9 %	0,5 %	9,3 %	4,5 %	32,9 %	95,0 %	100 %
compte d'autrui	39,2 %	5,6 %	45,9 %	11,8 %	53,7 %	82,6 %	100 %
compte propre	55,9 %	24,5 %	36,6 %	28,6 %	10,0 %	46,9 %	100 %
voie d'eau	3,0 %	5,7 %	8,2 %	27,6 %	3,3 %	66,8 %	100 %
total colonnes	100 %	7,4 %	100 %	13,2 %	100 %	79,3 %	100 %

unité: million de tkm

Source : TRM et MEMENTO

1.5. Problème du Choix Modal de Fret

L'analyse de la répartition modale du transport de marchandises en France, permet d'identifier une tendance importante :

La route a gagné des parts de marché au détriment du rail et de la voie d'eau. Durant la période 1980-1995, le volume de trafic par la route a augmenté en moyenne annuelle de 1% au trafic total alors que pour le mode ferroviaire et la voie d'eau, il diminuait respectivement de 0,8% et 0,2%. Dans de nombreux cas, la route devient le mode dominant.

Malheureusement, le succès croissant du transport routier le désigne comme le principal responsable des effets négatifs du transport pour la collectivité, parmi lesquels, il convient de citer : les accidents, la congestion, la pollution atmosphérique, l'énergie, le bruit et, dans une mesure moindre, la pollution de l'eau et la modification des équilibres hydrologiques, les atteintes visuelles ainsi que les coût d'élimination des épaves. La disponibilité des terrains est également une contrainte pour de nouveaux investissements en infrastructures de transport.

Ainsi, bien qu'il existe actuellement un consensus général sur le fait, qu'en économie de marché des investissements croissants sur des modes privilégiés ne sont plus admissibles, tout projet d'investissement dans de nouvelles infrastructures routières rencontre de plus en plus d'opposition dans un contexte sensible de protection de l'environnement. Par ailleurs le

développement des infrastructures routières peut se révéler contre-productif, s'il a pour conséquence de stimuler encore la demande de transport au détriment d'une gestion plus rationnelle des transports.

Pour faire face à la croissance routière annoncée et orienter les tendances dans le sens des intérêts de l'ensemble de la collectivité, les pouvoirs publics se trouvent dans une position quelque peu ambiguë, à savoir conserver une politique neutre tout en cherchant à satisfaire la mobilité là où la demande est de plus en plus forte et ne pas laisser le choix des infrastructures aux seules lois du marché. Une solution possible concerne la mise en application d'une nouvelle politique des transports dans laquelle la croissance du transport routier ne dépasse pas un certain pourcentage de croissance annuel, le surplus étant pris en charge proportionnellement à leurs prestations actuelles par le rail et les autres modes de transport. Cette hypothèse admet que les autres modes sont capables d'absorber un tel volume supplémentaire.

Lorsque des voies d'eau permettent seulement la circulation de convois lourds, la compétitivité du transport par voie d'eau est écrasante par rapport à celle des autres modes. Sa limite d'utilisation réside dans son absence de flexibilité géographique, son inadaptation à la politique industrielle des flux tendus. Il est malgré tout peu probable que le développement de ce mode puisse porter remède à l'engorgement du réseau routier, car s'il s'adapte bien à la desserte de ports, il doit s'appuyer sur des dessertes routières terminales longues pour pouvoir drainer des trafics importants vers les ports fluviaux, contribuant ainsi à maintenir un niveau important de trafic routier à moyenne distance.

Le mode ferroviaire n'assure aujourd'hui que 20 % des t-km transportées, ce mode s'avère particulièrement intéressant pour des liaisons entre grandes villes distantes de 400-500 km et plus particulièrement si les expéditeurs et destinataires sont tous deux 'embranchés', ce qui sous-entend des volumes de fret importants. Il peut absorber à moindre frais une croissance de trafic. Mais sa compétitivité est très variable et sa flexibilité faible. Ainsi le transport par trains complets est très compétitif sur le marché des échanges massifs, mais ne répond pas à l'évidence à des dessertes capillaires fines du territoire. La technique du wagon isolé est bien adaptée au volume unitaire, mais elle a vu sa part de marché régresser régulièrement du fait de son manque de compétitivité.

Heureusement, depuis quelques années, le transport combiné connaît un taux de croissance rapide. Après 1993, son développement s'est notablement accéléré avec une

croissance annuelle moyenne de 13%, bien que par rapport le trafic routier, son croissance n'est pas comme celle prévue. Ainsi, si le mode ferroviaire pur ne constitue donc pas une alternative réelle, son association avec le mode routier sous forme de transport combiné pourrait être le troisième mode appelé à concurrencer la route.

Par le passé, la logistique était considérée comme dépendant uniquement de l'efficacité du mode de transport et les différents exploitants modaux n'étaient vus que comme des transporteurs. On essayait au maximum dans les chaînes de transport d'éviter tout changement de mode, considérant chaque changement comme un point d'arrêt (de rupture) dans le flux.

Actuellement, la logistique recherche l'efficacité de la chaîne de transport ou du système logistique dans son ensemble. Elle repose sur une combinaison de prestations de plusieurs modes de transport. Ces opérations sont, non seulement, plus rapides et plus fiables, mais leur exécution peut s'accompagner de production de valeur ajoutée. Ainsi, dans les chaînes de transport, tous les modes de transport de traction peuvent interagir successivement ou alternativement.

Selon les analyses plus hautes, pour le transport des produits suivants le transport routier est dominant. En 1995, plus du 65% du trafic de marchandise est constitué par ces quatre types de produits, ainsi la décision de choix modal de ces quatre types de produits influencera principalement le choix des infrastructures. Les produits manufacturés concernent ici les matériels de transport et agricole, les machines et articles métalliques et autre articles manufacturés.

- produits agricoles et animaux vivants (NST 0)
- denrées alimentaires et fourrages (NST 1)
- chimie de base (NST 8)
- produits manufacturés (NST 9)

Ainsi, une perspective du transport ferroviaire ainsi que transport combiné existe donc dans le transport de ces produits. Malheureusement, bien que le transport combiné possède plus d'avantages que le transport ferroviaire pour concurrencer le transport routier, il tient en ce moment une place moins importante que prévu. C'est parce que la technique et le service de transport combiné n'est pas actuellement adapté à toutes les types de marchandises. En effet, certains produits ne se prêtent pas au transport combiné ou ne s'y prêtent que

partiellement (exemple des fleurs, animaux vivants, sables et graviers). . Par exemple, pour les produits à longue distance tels que les produits alimentaire, métallurgiques, la chimie de base et les produits manufacturés, seulement 13% du trafic emprunte le fer et le transport combiné.

Conclusion

Au vu des analyses développées ci-dessus, la possibilité de transférer du trafic de la route au fer ou au transport combiné devient un problème très important d'aménagement du territoire et d'adaptation du système de transport. Il est dès lors évident qu'une transformation de ce type n'est pas facile, elle demande un immense effort de la part du mode ferroviaire et combiné pour créer des variantes aussi flexibles et fiables que le transport par route. Ainsi, pour savoir s'il existe une possibilité de transfert, un des aspects importants consiste à étudier attentivement les facteurs logistiques et d'offre qui influencent la décision de choix modal des chargeurs. Ceci constitue un des objectifs centraux de cette thèse.

CHAPITRE 2

CHOIX MODAL DE MARCHANDISES : MODELISATION ET ETAT DE L'ART

Un outil d'analyse du choix modal est celui de la modélisation des comportements de choix modal. Celle-ci peut être menée grâce à deux types de modèles : le modèle de réseau et l'approche économétrique. Dans l'approche économétrique, les modèles discrets désagrégés ont connu un développement important, notamment en ce qui concerne les concepts de sélection des types de modèles, de valeur du temps, de méthodes d'agrégation, etc.. Ce chapitre traitera des développements de ces aspects et des problèmes existants en particulier dans le domaine du transport de marchandises.

2.1 Modélisation du Choix Modal

La répartition des flux de marchandises est une conséquence de l'analyse des comportements et interactions de nombreux agents économiques présents sur le marché du transport de marchandises. Ces comportements d'agents économiques différents construisent l'objet de l'analyse du choix modal. HARKER (1985) a distingué cinq catégories d'acteurs (ou agents). Selon son analyse et en considérant producteurs, consommateurs et expéditeurs comme des chargeurs, trois types principaux d'institutions sont concernées par les déterminants du choix modal : le gouvernement, le transporteur et le chargeur.

Le gouvernement est défini comme l'Etat, les collectivités territoriales. Les deux moyens majeurs par lesquels le gouvernement entre dans la décision du choix modal de transport sont la régulation et l'offre d'infrastructures de transports. Un des objectifs de cette thèse est d'étudier quel est le rôle des pouvoirs publics dans le choix des infrastructures.

Les transporteurs fourniront les moyens de transport avec différentes qualités de service. Les transporteurs n'interviennent pas généralement dans le choix modal sauf dans deux cas particuliers. L'un où les chargeurs ne prennent pas la décision du choix modal et la confient au transporteur. L'autre où il existe des transporteurs intermédiaires qui organisent le transport de la part des chargeurs.

Les chargeurs constituent un groupe d'agents économiques qui décident de la génération de flux depuis une origine et de la distribution de ces flux sur un ensemble de

destinations, et de l'ensemble des entreprises de transport qui transportent les marchandises de l'origine à la destination. Le chargeur est constitué d'un conglomérat de diverses entités décisionnelles, comme le département de la logistique de l'entreprise, le service de distribution, le service transit de marchandises, etc.. En effet, ce sont les décisions individuelles des chargeurs en interaction avec les transporteurs et les pouvoirs publics qui jouent un rôle majeur dans la détermination du choix modal marchandises.

Depuis une vingtaine d'années, pour analyser les problèmes de choix modal, une des méthodes majeures a consisté à modéliser les comportements de choix des chargeurs face à un système de transport complexe. Idéalement, le modèle de choix modal doit pouvoir incorporer tous les comportements des agents économiques et leurs interactions. On peut décrire ce type de modèle en une formule générale :

Etant donné que X_{ij} désigne la quantité de marchandise à transporter de l'origine i à la destination j pendant une période de temps déterminée, le but de la décision du choix modal est de partager les trafics de marchandises entre différents modes compétitifs. Si l'on suppose que T_{ijk} désigne la quantité de marchandises transportée de l'origine i à la destination j par le mode k , la forme générale du modèle de choix modal est la suivante :

$$T_{ijk} = P_k(X_{ij}) \cdot X_{ij} \quad (2.01)$$

$$P_k(X_{ij}) = f(C, T, S, M) \quad (2.02)$$

où

$P_k(X_{ij})$ = pourcentage de marchandises transportées par le mode k de l'origine i à la destination j

C = attributs des chargeurs

T = niveau de service des transporteurs

S = interventions de l'Etat

M = caractéristiques du marché

A partir de cette formule, jusqu'à présent, il existe deux types de modèle qui essaient de traduire mathématiquement cette idée : le modèle dit de réseau et le modèle de choix modal discret.

2.2. Développement du Modèle de Réseau

Le modèle de réseau sert à décrire le système de transport comme un groupe de noeuds et d'arcs représentant le système d'infrastructures. Les noeuds représentent des équipements comme les terminaux, les ports, les gares de marchandises etc.. Les arcs représentent les routes, les lignes de chemin de fer, les voies d'eau etc.. En général, le coût de transport et le niveau des attributs de service sont associés à chaque élément du réseau.

2.2.1. Le Modèle d'Equilibre de Réseaux

La première catégorie de modèle de réseau utilisé pour la prévision des flux de marchandises en interurbain est le modèle d'équilibre de réseau de marchandises (*Freight Network Equilibrium model (FNEM)*). Ces modèles se focalisent sur les interactions entre transporteurs et chargeurs. Dans ces modèles, on suppose en général que la génération de flux de chaque région est connue.

ROBERTS [1966] et KRESGE et ROBERTS [1971] ont réalisé la première maquette d'un modèle FNEM multimodal (modèle d'HARVARD-BROOKINGS). Ils utilisaient des coûts unitaires constants, chaque chargeur déterminant le plus court chemin entre OD. Les flux en tonnages entre OD étaient déterminés par un module de distribution classique. Ensuite, BRONZINI et SHERMAN [1979, 1982 and 1983] ont développé le modèle de réseau de transport (modèle de CACI) qui est un modèle à demande fixe, sectoriel et multimodal. Dans tous ces modèles, seuls les comportements des chargeurs sont explicitement modélisés.

La première tentative d'explication des interfaces chargeur-transporteur et transporteur-transporteur a été effectuée par LANSLOWNE [1981]. A partir de l'étude des pratiques courantes au sein de l'industrie, il s'intéresse aux problèmes des interfaces transporteur-chargeur et transporteur-transporteur dans un modèle d'affectation de trafic de fret ferroviaire où il définit quatre principes de base pour modéliser les interactions chargeur-transporteur, transporteur-transporteur.

Le modèle d'équilibre de réseau de marchandises (FNEM) a été ensuite développé par FRIEZE, GOTTFRIED et MORLOK [1981]. C'est le premier modèle qui introduit deux groupes d'agents : les chargeurs et les transporteurs au sein d'un modèle de prévision général de flux interurbains de trafics. FNEM ne réalise pas simultanément la prévision du comportement des chargeurs et des transporteurs mais utilise une approche séquentielle dans laquelle on établit

d'abord la demande de transport des chargeurs qu'on introduit ensuite dans le réseau des transporteurs afin de maximiser le profit de chaque transporteur pris individuellement. Tout d'abord, on établit la fonction du coût de transport généralisé des chargeurs :

$$CT = \sum_v (R_v(T) + \Phi * t_v + C) \quad \forall v \in V \quad (2.03)$$

- CT: coût de transport du chargeur
- Φ : valeur du temps
- t_v : temps de transport sur la paire OD (v)
- $R_v(T)$: prix du transport sur la paire OD (v)
- C: autres coûts liés au transport

Puis on construit la fonction de demande de transport des chargeurs :

$$T_v = f(CT) \quad (2.04)$$

par laquelle on obtient le coût de transport généralisé en fonction de la demande :

$$CT = f^{-1}(T_v) \quad (2.05)$$

D'où la formule suivante :

$$f^{-1}(T_v) = \sum_v (R_v(T) + \Phi * t_v + C) \quad (2.06)$$

Avec cette formule le prix de transport en fonction de la demande $R_v(T)$ est finalement obtenu. Enfin on peut maximiser le profit du transporteur pour les résultats de flux T_v de chaque paire OD.

$$MAX \sum_v (R_v(T) * T_v - C_v^k(T_v^k)) \quad (2.07)$$

- v : désigne la paire OD (v)
- T_v : flux de trafic sur la paire OD (v)
- C_v^k : coût du mode k de transport sur la paire OD (v)

GOTTFRIED [1983] l'utilise à un niveau multimodal, national, et multisectoriel qui a donné des résultats meilleurs que toutes les approches précédentes. TOBIN et al. [1983] a utilisé ce modèle dans le cadre du problème de la conversion de centrales électriques fonctionnant au pétrole en centrales charbon. Cependant, HARKER et FRIESZ [1982] ont reconnu les faiblesses de l'approche séquentielle utilisée dans les FNEM et ont proposé de recourir à une formulation qui tente de prendre en compte la simultanéité des prises de décision des chargeurs et des transporteurs. Bien qu'incapable de résoudre des problèmes de grande envergure, cette approche s'avère utile en vue de vérifier que l'approche séquentielle est inconsistante.

De plus, FRIESZ, VITON et TOBIN [1984], en supposant l'égalité entre prix de transport et coût marginal de transport entre paires d'O-D, développent un modèle simultanée dans les prolongements des modèles FNEM. Un algorithme spécifique a dans ce cadre été développé en vue de prouver l'existence d'une solution unique (point d'équilibre).

2.2.2. Le Modèle d'Equilibre de Prix Spatial

La deuxième catégorie de modèle de réseau utilisé pour la prévision de flux de marchandises en interurbain est le modèle d'équilibre de prix spatial (SPE). Ces modèles se focalisent sur les interactions entre producteurs, consommateurs et chargeurs, les transporteurs sont absents de ce type de modèles. En lieu et place des transporteurs, on introduit une fonction de coût comme un élément de réseau permettant de représenter les entreprises de transport. En conséquence le modèle d'équilibre de prix spatial ne traite pas explicitement du processus de décision des transporteurs. Ce type de modèle a été appliqué à l'analyse des flux interrégionaux de marchandises. Citons FLORIA et LOS [1982] et FRIESZ, TOBIN, SMITH et HARKER [1983].

Dans ce modèle, les comportements des chargeurs résultent de l'équilibre de prix spatial. Le modèle se compose d'un groupe de noeuds dans le réseau qui est désigné comme des régions de production et/ou des régions de consommation, pour différents types de marchandises. Ces régions sont connectées directement ou par une série de noeuds de transbordement. Le comportement de production et de consommation est introduit en définissant la fonction de demande et d'offre pour chaque région. L'équilibre de prix spatial est caractérisé par les deux principes suivants (on supposera par la suite que les chargeurs se comportent selon ces deux principes d'équilibre) :

- s'il existe un flux de marchandises A entre une région i et une région j, alors le prix de la marchandise A dans la région i + le coût de transport de la région i à j va finalement être égal au prix de la marchandise A dans la région j, autrement dit :

$$\text{si } T(i,j) > 0 \quad (2.08)$$

alors, au fur à mesure que les échanges s'intensifient

$$\tau_i + C_{ij} = \tau_j \quad (2.09)$$

$T(i,j)$: le flux de marchandises entre i et j

τ_i et τ_j : les prix de marchandise à i et j

C_{ij} : le coût de transport entre i et j

- si le prix de marchandise A dans la région i + le coût de transport de i à j est plus grand que le prix de marchandise A dans la région j, il n'y aura plus de flux entre i et j, à savoir :

$$\text{si } \tau_i + C_{ij} > \tau_j \quad (2.10)$$

alors

$$T(i,j) = 0 \quad (2.11)$$

En conséquence, les fonctions de demande de transport résultent des jeux de forces des marchés entre les régions i et j, grâce à un processus d'équilibre. Autrement dit, pour une région e l'équation suivante doit être satisfaite:

$$O(\tau_e) - D(\tau_e) + \sum_i \sum_{i,e} T(i,e) - \sum_j \sum_{e,j} T(e,j) = 0 \quad (2.12)$$

$O(\tau_e)$: fonction d'offre dans la région e

$D(\tau_e)$: fonction de demande dans la région e

τ_e : prix de la marchandise dans la région e

$T(i,e)$ et $T(e,j)$: les flux entre (i, e) et (e, j)

Le processus d'équilibre de prix spatial peut être présenté sous une forme mathématique connue sous le nom de problème de complémentarité. Un problème de complémentarité revient à rechercher un vecteur $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ qui satisfasse l'ensemble des

équations suivantes pour une fonction de vecteur $F(x)$ telle que $F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_n(x))$ avec x : flux de i à j

$$\begin{aligned} F(x) \cdot x^t &= 0 \\ F(x) &\geq 0 \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

X^t = matrice transposée de X

La résolution de ce système d'équations permet de déterminer les flux de marchandises pour chaque O-D paire, chaque itinéraire et chaque mode de transport.

2.2.3. Le Modèle d'Equilibre de Prix Spatial Généralisé

Le modèle d'équilibre de prix spatial a incorporé la génération de flux mais n'a pas réussi à modéliser les interactions entre chargeurs et transporteurs. D'autre part, le modèle d'équilibre de réseau de marchandises peut explicitement modéliser ces interactions mais ne peut estimer la génération des flux.

HARKER [1982,1984,1986,1987] a développé un modèle de système de transport de marchandises en interurbain qualifié de modèle d'équilibre de prix spatial généralisé (GSPEM). Cette formulation se base sur la conception de l'équilibre du prix spatial et en conséquence incorpore les comportements de production, consommation et des chargeurs d'une part; d'autre part il inclue un sous modèle de comportements des transporteurs en vue de remplacer la fonction de coût de transport. Cela signifie que les comportements de tous ces agents sont intégrés sous une forme mathématique unique. Ce modèle peut alors prévoir simultanément les prix et quantités de marchandises dans chaque région, les coûts de transports ainsi que les itinéraires des transporteurs.

Les modèles GSPEM peuvent traiter simultanément tous les agents économiques, ils peuvent aussi être utiles pour la génération-distribution-affectation et le partage modal des flux de marchandises. HARKER [1983] a décrit l'application de ce modèle à l'analyse de l'économie du charbon aux Etats Unis, il l'a aussi utilisé en vue de mesurer les impacts de l'augmentation du volume des exportations de charbon ainsi que de la fermeture de certains ports.

2.3. Développement du Modèle de Choix Modal Discret

Parmi les modèles économétriques, un développement très important a été l'introduction des modèles dits de choix modal discret de demande de transport. Le modèle de demande essaie d'expliquer la demande de transport comme une fonction du niveau de service et des caractéristiques de la demande. Il permet donc de construire une fonction d'utilité très souple qui peut comprendre des variables différentes comme les caractéristiques des services ou de l'offre de transport, les attributs des marchandises à transporter et les caractéristiques des chargeurs. Avec ce type de modèle, les chercheurs essaient d'estimer les paramètres des variables de demande et d'offre sur les divers modes de transport et d'analyser les sensibilités des chargeurs aux changements de ces variables explicatives. Ces paramètres sont utilisés pour mieux comprendre la nature de la concurrence intermodale, et comme variables de régulation. Par ailleurs, ils ont été aussi utilisés pour évaluer l'investissement de transport et prévoir la demande d'un nouveau mode de transport.

2.3.1. Modèle de Choix Agrégé

La plupart des modèles de demande de marchandises appliqués en pratique sont des modèles dits agrégés. Le modèle agrégé est basé sur l'utilisation des valeurs moyennes des observations, autrement dit, des données de flux moyennes en provenance d'une zone (région ou département) et non pas individuelles (chargeurs ou transporteurs). Ainsi, pour établir le modèle agrégé, on a besoin de connaître à la fois la matrice OD des flux de marchandises et les données sur des variables explicatives des flux pour chaque OD, comme le temps de transport, le coût de transport, etc..

Pour déterminer la génération et l'attraction, deux techniques largement utilisées pour obtenir la matrice des mouvements de marchandises sont le modèle gravitaire et l'approche par programmation linéaire. KRESGE et ROBERTS (1971) ont utilisé une fonction de coût généralisé de marchandises dans le modèle gravitaire, et EVANS (1973) a développé une relation entre programmation linéaire et modèle gravitaire.

Un modèle agrégé majeur est le modèle de partage modal. Le modèle de partage modal n'essaie pas de déterminer le flux total pour un mode particulier mais le ratio du trafic transporté par un mode particulier sur le trafic transporté par un autre mode ou l'ensemble des modes. Un modèle de partage modal couramment utilisé est le modèle logit agrégé, il essaie

de déterminer les partages modaux des trafics selon le niveau de service ; dans certains cas, selon encore les caractéristiques des marchandises transportées :

$$P_{ij}^k = \frac{\exp(-C_{ij}^k)}{\sum_K \exp(-C_{ij}^k)} \quad (2.14)$$

où

P_{ij}^k : ratio du trafic transporté par le mode k sur le trafic total entre les régions i et j

C_{ij}^k : coût de transport généralisé du mode k entre les régions i et j

K : ensemble des modes de transports

Le coût de transport généralisé est une fonction des variables X_{ij} , à savoir : le coût de transport, le temps de transport, la distance, la taille d'expédition, etc., variables qui influencent le partage modal. On peut écrire :

$$C_{ij} = \sum_{n=1}^N \beta_n X_{ijn} \quad (2.15)$$

Si l'on suppose que M_{ij}^k désigne le trafic transporté par le mode k entre les régions i et j , le modèle logit peut être écrit sous la forme :

$$\log \left(\frac{M_{ij}^{k_1}}{M_{ij}^{k_2}} \right) = \sum_{n=1}^N \beta_n (X_{ijn}^{k_1} - X_{ijn}^{k_2}) \quad (2.16)$$

$M_{ij}^{k_1}$: trafic transporté par le mode k_1 entre région i et j

$M_{ij}^{k_2}$: trafic transporté par le mode k_2 entre région i et j

$X_{ijn}^{k_1}$: $n^{\text{ième}}$ variable de mode k_1 entre régions i et j

$X_{ijn}^{k_2}$: $n^{\text{ième}}$ variable de mode k_2 entre régions i et j

KULLMAN [1973] a calibré un modèle bi-logit pour le choix entre le fer et le camion en utilisant le prix, la moyenne et l'écart-type du temps, la valeur de la marchandise transportée, la distance et le tonnage annuel expédié comme variables explicatives. En outre, BOYER [1977] a introduit la taille d'envoi comme variable. LEVIN [1978] a utilisé un modèle logit multinomial pour le choix entre le camion, le fer et le transport combiné. La structure simple de ces modèles peut faciliter l'analyse des problèmes où il existe une grande masse de données ou des calculs numériques importants. Un exemple typique de cette approche est le modèle classique dit aussi à 'quatre-étapes' avec des adaptations spécifiques dans le cas des

marchandises réalisées par KIM et HINKLE [1982], qui modélisent les mouvements de marchandises en interurbain aux Etats-Unis. En France, JI (1994) a modélisé le choix entre la route et le transport combiné en utilisant le modèle logit agrégé, Latreille (1997) a aussi modélisé le choix entre le fer, la route et la voie d'eau avec un modèle logit agrégé.

Etant donné que ces modèles expliquent peu les comportements, des modèles de comportements agrégés de demande de transport ont été développés. Les deux modèles majeurs sont ceux de OUM [1979] et l'étude de la demande par FRIEDLAENDER et SPADY [1981]. Ces modèles supposent que les producteurs maximisent leur profit et interviennent dans leur processus de production. On obtient la demande de transport des producteurs pour un mode particulier en introduisant une fonction de coût qui s'appelle la fonction de coût Translog.

2.3.2. Modèle de Choix Désagrégé

Le fondement théorique des modèles désagrégés de marchandises vient de l'approche du comportement de consommateur développée par LANCASTER [1966] qui y énonce que les utilités des consommateurs proviennent des attributs des marchandises, et non des marchandises elles-mêmes. Cette approche essaie de refléter la réalité institutionnelle de la décision de transport de marchandises absente du modèle agrégé, elle permet ainsi de mieux saisir les caractéristiques importantes du décideur de transport au sein de l'entreprise. Avec le modèle désagrégé et en utilisant les attributs actuels des modes de transport pour un mouvement donné et les caractéristiques des marchandises à transporter, on peut donc mieux comprendre la concurrence intermodale.

Selon la théorie de l'utilité, on suppose toujours que les individus sélectionnent des modes de transport avec l'utilité la plus haute. Parce que les utilités ne sont pas connues de manière certaine, on les traite donc comme des variables aléatoires et on les décompose en deux parties :

$$U_{in} = V(Z_{in}, S_n) + \varepsilon(Z_{in}, S_n) = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (2.17)$$

où

- V_{in} : la composante *systématique* de l'utilité
- ε_{in} : la composante *aléatoire* de l'utilité
- Z_{in} : le vecteur des attributs du mode i estimé par le chargeur n
- S_n : le vecteur des caractéristiques du chargeur n

la probabilité de choisir le mode i peut donc s'écrire sous la forme :

$$P_i = P(V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}, \forall i \in C_n) \quad (2.18)$$

En faisant des hypothèses sur la distribution probabiliste conjointe des termes d'erreur ε_{jn} , on peut en déduire n'importe quel type de modèle de choix multinomial. Si l'on suppose que l'alternative i choisie est la première alternative dans C_n , la probabilité $P_n(i)$ est égale à :

$$P_n(1) = \int_{\varepsilon_{1n} = -\infty}^{\infty} d\varepsilon_{1n} \int_{\varepsilon_{2n} = -\infty}^{V_{1n} - V_{2n} + \varepsilon_{1n}} d\varepsilon_{2n} \cdots \int_{\varepsilon_{J_n n} = -\infty}^{V_{1n} - V_{J_n n} + \varepsilon_{1n}} f(\varepsilon_{1n}, \dots, \varepsilon_{J_n n}) d\varepsilon_{J_n n} \quad (2.19)$$

où $f(\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{J_n n})$ désigne la fonction de densité conjointe des termes d'erreur ε_{jn} .

En matière de modèle de choix désagrégé, les modèles utilisés le plus souvent sont les modèle logit et probit. Ces deux techniques statistiques, qui ont été utilisé largement dans le domaine de la biométrie, sont aussi utilisées dans l'analyse du choix modal marchandises.

Si l'on fait les hypothèses suivantes sur les termes d'erreurs ε_{jn} :

- (1) les ε_{jn} suivent une distribution indépendante et identique (IID),
- (2) les ε_{jn} suivent une distribution de *Gumbel*,

le modèle logit multinomial (modèle MNL) s'écrit comme:

$$P_n(i) = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j \in I} \exp(V_{jn})} \quad (2.20)$$

$P_n(i)$ la probabilité de choisir l'alternative i par l'individu n

V_{in} : fonction d'utilité de l'individu n pour l'alternative i

I : l'ensemble des alternatives

Le modèle probit autorise de nouvelles spécifications et permet de tenir compte de la dispersion des préférences individuelles et de ne pas imposer a priori l'indépendance de la composante stochastique du modèle.

Si l'on suppose que $\boldsymbol{\varepsilon}_n = [\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{jn}]'$ est un vecteur multiple aléatoire qui suit une distribution normale de moyenne nulle et de matrice de variance-covariance Σ (cette hypothèse implique que les ε_{in} ne doivent pas être indépendants), et si l'on suppose que l'alternative i est choisie comme première alternative dans C_n , la formulation du modèle probit correspondant devient beaucoup plus compliquée que dans le cas du modèle logit :

$$P_n(i) = \int_{-\infty}^{\infty} d\varepsilon_{1n} \int_{-\infty}^{X_i \bar{\beta} - X_j \bar{\beta} + \varepsilon_i} d\varepsilon_{2n} \dots \int_{-\infty}^{X_i \bar{\beta} - X_n \bar{\beta} + \varepsilon_i} \phi(\varepsilon_{1n}, \dots, \varepsilon_{j_n n}; \Sigma) d\varepsilon_{j_n n} \quad (2.22)$$

où ϕ est la fonction de densité normale multiple de moyenne nulle et de matrice de variance-covariance Σ . Pour la résoudre, il faut estimer une intégrale multiple d'ordre $J_n - 1$ (J_n , nombre d'alternatives).

Si l'on suppose que le choix modal est entre deux modes, le modèle probit binaire peut être écrit sous la forme :

$$P_n(i) = \Phi\left(\frac{V_{in} - V_{jn}}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{\beta'(X_{in} - X_{jn})}{\sigma}\right) \quad (2.23)$$

Φ : désigne la distribution normale cumulative

σ : variance du terme d'erreur

Les études sur les modèles de choix désagrégé (WATSON ET AL. [1974], DAUGHETY [1979], WINSTON [1980]) essaient de se focaliser sur la décision de choix modal prise par le manager logistique des entreprises expéditrices ou destinataires. Dans l'analyse on suppose que le manager cherche à maximiser son utilité sur la dépense et le service qu'il reçoit en utilisant un mode donné. ALLEN [1977] a développé un modèle de transport de marchandises par cette approche, DAUGHRTY et INABA [1978] sont ensuite allés plus loin en ajoutant l'incertitude dans le problème de maximisation des profits. Cette incertitude est exprimée par la nature stochastique des attributs de service, par exemple, la variabilité du temps d'arrivée, les dommages potentiels, etc..

FOWKES et TWEDDLE [1988] ont modélisé le choix modal avec des données de préférences déclarées en utilisant le modèle logit. Ils ont eu recours aux variables suivantes : le coût de transport, la fréquence, le temps de transport, le pourcentage d'arrivées à temps, les dommages occasionnés. WIDLERT et BRADLEY [1992] ont analysé le choix modal entre la route et le fer en utilisant une spécification logit désagrégé sur données de préférences

déclarées. Les variables utilisées dans les analyses sont : le coût de transport, le temps de transport, la fiabilité des temps, la probabilité de dommages, la fréquence des envois.

Supposant que la décision de transport est prise par le gestionnaire des stocks, un autre type de modèle, le modèle dit d'inventaire a été développé. Le modèle d'inventaire essaie d'incorporer le choix modal et la décision de production de l'entreprise telle que la taille d'expédition et la fréquence des expéditions soient considérées comme des décisions endogènes.

L'aspect théorique du modèle d'inventaire est largement étudié par de nombreux de chercheurs. BAUMOL et VINOD [1970] sont les premiers qui ont utilisés cette approche, par la suite sont venus DAS [1974] et WHYBARK [1978]. McFADDEN et WINSTON [1981, 1985] ont introduit la notion de choix conjoint discret et continu en transport de marchandises. Principalement, le problème d'optimisation par l'entreprise se décompose en choix de la taille des envois, du mode de transport et de la fréquence des envois en vue de maximiser leur valeur présente escomptée de profit sous la contrainte de gestion des stocks. ABDELWAHAB et SARGIOUS [1992] ont présenté une approche qui est basée sur la notion de 'decision-making simultané' du choix modal et de la taille des envois. Un système de changement simultané est utilisé pour déduire le modèle conjoint du choix modal/de la taille d'envoi pour le transport de marchandises.

Enfin, en ce qui concerne le modèle probit, la seule étude disponible est celle de WINSTON [1981] qui a étudié le comportement de choix modal entre le rail, la route en compte propre et compte d'autrui, pour le transport de marchandises en interurbain. Il a utilisé six variables explicatives : la taille d'envoi, la valeur de la marchandise, le prix de transport, le temps de transport, la fiabilité, la distance à la gare.

2.4. Valeurs du Temps et Choix Modal

Dans le transport de marchandises, les chargeurs doivent prendre la décision de choix modal dans un monde incertain car les attributs des transports sont des variables aléatoires comme le temps de transport et la fiabilité, etc.. Cela signifie que leur décision est influencée par leur attitude vis à vis du risque et leur évaluation monétaire des attributs de transport comme la valeur du temps (Valeur Du Temps, VDT). Ainsi, un objectif important de la modélisation du transport de marchandises consiste à calculer la valeur du temps. La VDT est l'augmentation du coût de transport qui correspond à la perte de temps d'une heure de

transport. D'un autre coté, on peut dire que la valeur du temps est l'augmentation de la différence de coûts entre deux modes en vue de gagner une heure de temps de trajet. Un exemple classique pour comprendre que le temps de transport possède une valeur monétaire, est celui du taux d'intérêt lié à la marchandise transportée par le biais de la durée de transport et des agios de retard de livraison. D'autres exemples concernent le caractère périssable des marchandises et la nécessité de maintenir un stock pour empêcher toute interruption du processus de production. Une tendance vers une logistique du "juste à temps" implique que de hauts niveaux de temps et de fiabilité du transport sont exigés. Si le système de transport échoue à satisfaire cette demande, des expéditions 'de secours' plus onéreuses seront nécessaires. Ainsi, la VDT constitue un facteur important pour le choix modal des chargeurs.

Afin de calculer la valeur du temps en transport de marchandises, on a souvent recours au modèle de choix modal. Dans ce cas, la valeur du temps est mesuré en utilisant le ratio entre les coefficients de temps et de coût estimé à partir du modèle. La valeur du temps calculée par ces modèles dépend forcément de la spécification du modèle et des données utilisées [GAUDRY et AL. 1989], c'est une caractéristique indésirable car des modèles très différents ont été utilisés pour évaluer des politiques de transport, aussi il s'avère en pratique difficile de comparer les estimations des valeurs du temps produites par chacun de ces modèles.

Dans le modèle de partage modal agrégé (2.15), si l'on suppose que le décideur base son choix modal sur le temps et le coût de transport, le modèle peut se réécrire :

$$\log \left(\frac{M_{rj}}{M_{jj}} \right) = \alpha + \beta (T_{rj} - T_{jj}) + \gamma (C_{rj} - C_{jj}) \quad (2.24)$$

α, β, γ : coefficients à estimer

On en déduit donc la valeur du temps par la formule suivante :

$$VDT = \beta / \gamma \quad (2.25)$$

Dans la fonction d'utilité (2.16) du modèle de choix désagrégé, si les caractéristiques S_i comprennent le temps (T) et le coût (C) du mode de transport, une méthode de calcul de la valeur du temps est de trouver le ratio de substitution entre le temps et le coût sous l'hypothèse de constance de l'utilité. On obtient alors l'expression suivante :

$$VDT = \frac{dC}{dT} = \frac{\frac{\partial U}{\partial T}}{\frac{\partial U}{\partial C}} \quad (2.26)$$

Selon la forme de la fonction d'utilité U , on peut obtenir la formule de la valeur du temps. Si l'on suppose que la fonction f d'utilité est linéaire et que les caractéristiques considérées ne sont que le temps et le coût de transport, on aura la fonction d'utilité :

$$U_r = \alpha_0 + \alpha T_r + \beta C_r \quad (2.27)$$

Une unité de variation dans le temps produira α unités de variations de l'utilité U , la même variation de l'utilité U peut être produite par α / β unités de variations des coûts, ainsi la valeur du temps peut s'écrire comme :

$$VDT = \alpha / \beta \quad (2.28)$$

BLAUWENS et VAN DE VOORDE [1988] ont estimé la valeur du temps en modélisant le choix modal entre la route et la voie d'eau avec un modèle de partage modal agrégé. Une relation entre la valeur du temps et la valeur de la marchandise transportée a été trouvée (la valeur du temps d'une heure est égale 0.0000848*valeur de la marchandise transportée). Dans l'étude de WIDLERT et BRADLEY [1992], outre le calcul des valeurs du temps associées, une relation non proportionnelle entre la valeur du temps et la valeur des marchandises transportées a été estimée. La seule étude concernant la distribution probabiliste de la valeur du temps a été réalisée par WINSTON [1981] où la valeur du temps suit une distribution log-normale. DE JONG et GOMMERS [1992] ont appliqué le modèle logit à l'estimation de la valeur du temps des marchandises aux Pays-Bas. Le choix modal s'effectuait entre la route, le fer et la voie d'eau. En général les chargeurs et les transporteurs sont presque indifférents à l'arbitrage entre les changements de temps, de coûts de transports ou de prix de transports.

Une autre méthode pour la valeur du temps concerne la méthode dite du « transfer price ». Le point essentiel de cette méthode est d'analyser jusqu'à quel point, lorsque les prix de transports augmentent, le décideur va changer de mode de transport, on recherche alors le prix d'équilibre où le décideur est indifférent pour le choix entre deux modes de transport. LEE et DALVI [1969] ont été les premiers à proposer son utilisation dans le contexte de l'estimation de la valeur du temps. WYNTER [1994] a calibré les valeurs du temps chez les transporteurs routiers de marchandises français en utilisant la méthode du 'transfer price' en

vue d'analyser le rôle des effets de péage sur le choix entre la route nationale et l'autoroute à péage. Elle a trouvé que la série des valeurs du temps suit une distribution log-normale qui dépend de la distance de transport.

2.5. Agrégation des Modèles et Prévision de Choix Modal

Dans la planification et l'évaluation du système de transport, l'objectif final de modélisation est de prévoir et d'examiner la sensibilité de la demande de transport correspondante aux changements de variables dites politiques et logistiques. Cependant, la prévision des comportements de choix modal des chargeurs par le modèle désagrégé s'avère généralement inutile pour cet objectif, car dans la pratique, la décision de transport doit être basée sur la prévision de la demande agrégée en vue de représenter les comportements d'un groupe homogène de chargeurs. Un lien entre le modèle désagrégé et la prévision agrégée devient dès lors nécessaire (Ben-Akiva and Lerman, 1994).

2.5.1. Méthode d'Énumération Complète

La méthode la plus fiable d'agrégation des estimations du modèle de choix désagrégé, est celle intitulée d'*énumération complète*'. Avec cette méthode, on prévoit la probabilité pour chaque envoi en utilisant le modèle désagrégé, et ensuite on calcule la valeur moyenne des probabilités prévues comme pour la prévision agrégée. Si un groupe d'envoi (par exemple les transports de marchandises à longue distance) à analyser est déterminé par T, la taille du groupe (nombre d'envois) N_T , et la probabilité qu'un envoi n choisisse l'alternative i est définie comme $P(i/x_n)$, où x_n représente toutes les variables indépendantes influençant ce choix, le nombre espéré des envois dans le groupe T qui a choisi l'alternative i désigné par $N_T(i)$ s'écrit :

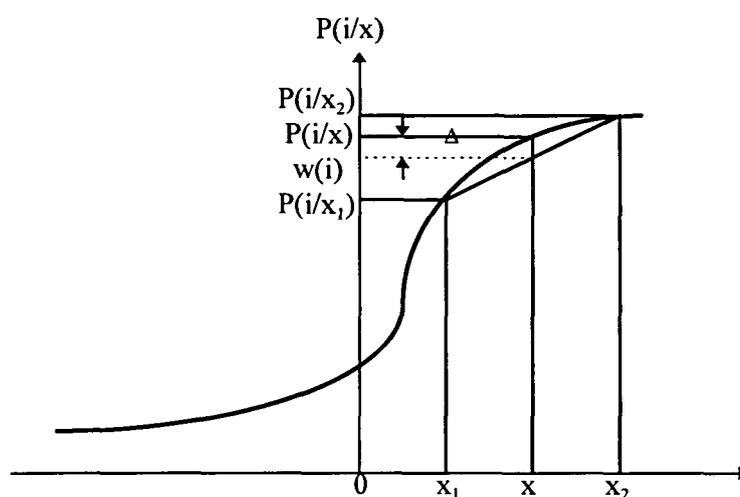
$$N_T(i) = \sum_{n=1}^{N_T} P(i / x_n) \quad (2.28)$$

Donc la probabilité de choisir l'alternative i pour le groupe T est :

$$W(i) = \frac{1}{N_T} \cdot \sum_{n=1}^{N_T} P(i / x_n) = E[P(i / x)] \quad (2.29)$$

2.5.2. Méthode d'Agrégation Directe

La méthode la plus simple est la méthode dite « naïve » (méthode d'agrégation directe). Avec cette méthode, on remplit les variables indépendantes dans le modèle avec leur valeurs moyennes et ensuite on calcule la probabilité de choix comme en prévision agrégée. Malheureusement, bien que simples, pour les modèles non linéaires comme le modèle logit, les prévisions effectuées par cette approche sont imprécises. Si l'on suppose que le groupe comprend seulement deux envois de caractéristiques x_1 et x_2 , x désignant la valeur moyenne, le graphique ci-dessous permet d'expliquer l'erreur à laquelle cette approximation conduit.



Ainsi la probabilité actuelle agrégée peut être exprimée par :

$$W(i) = \frac{P(i/x_1) + P(i/x_2)}{2} \quad (2.30)$$

La probabilité agrégée prévue par la méthode « naïve » est égale à $w(i)$. On observe sur le graphique ci-dessus que $w(i) < P(i/x)$. La différence d'agrégation Δ est ce que l'on appelle l'erreur d'agrégation. Ce type d'erreur est dû au fait que toutes les expéditions ne possèdent pas les mêmes attributs individuels ou les mêmes attributs des alternatives de choix.

2.5.3. Méthode TALVITE

Cette méthode approximative consiste à prendre l'expansion de la série de Taylor de la probabilité de choix en valeur moyenne des variables explicatives, pour ensuite ne retenir que les trois premiers termes de la série (Série de Taylor de second ordre). La probabilité peut

donc être exprimée, où R désigne le nombre d'éléments dans \mathbf{x} et x_r, \bar{x}_r représente le $r^{\text{ième}}$ élément dans \mathbf{x} et $\bar{\mathbf{x}}$ par :

$$W(i) \cong P(i / \bar{\mathbf{x}}) + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^R \sum_{r'=1}^R \frac{\partial^2 P(i / \mathbf{x})}{\partial x_r \partial x_{r'}} \Big|_{\bar{\mathbf{x}}} \text{cov}(x_r, x_{r'}) \quad (2.31)$$

Le résultat indique que la part modale prévue par la méthode d'énumération complète est approximativement égale à la part prévue par la méthode d'agrégation directe (méthode naïve) plus un terme correcteur, qui dépend conjointement de la variance de l'échantillon et de la valeur prévue par la méthode naïve.

2.5.4. L'Intégration explicite

Si l'on peut connaître la distribution des variables explicatives $p(\mathbf{x})$, l'expression intégrale suivante $W(i)$ sera déterminable pour les combinaisons particulières des $p(\mathbf{x})$ et $P(i/\mathbf{x})$.

$$W(i) = \int_{\mathbf{x}} P(i / \mathbf{x}) p(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \quad (2.32)$$

L'approche la plus directe consiste évidemment à résoudre cette expression intégrale de $W(i)$. Cependant, une approche plus simple analytiquement est de considérer la différence $\bar{\varepsilon}_{in} = \mathbf{x}_{in} - \bar{\mathbf{x}}_i$ comme la source des erreurs aléatoires observables en raison du processus d'agrégation. Cette définition nous permet de déduire la fonction d'utilité comme :

$$U_{in} = \beta' \mathbf{x}_{in} + \varepsilon_{in} = \beta' \bar{\mathbf{x}}_i + (\beta' \bar{\varepsilon}_{in} + \varepsilon_{in}) = \bar{V}_i + \varepsilon_{in}^* \quad (2.33)$$

et donc la probabilité de choisir l'alternative i pour n'importe quel envoi est donnée par :

$$W(i) = P(\bar{V}_i + \varepsilon_{in}^* > \bar{V}_j + \varepsilon_{jn}^*) \quad (2.34)$$

Si le vecteur des variables indépendantes \mathbf{x} et les termes d'erreur ε_{in} suivent une distribution normale, alors les ε_{in}^* suivront aussi une distribution normale et l'expression $W(i)$ ci-dessus est vraiment une probabilité agrégée.

2.5.5. L'énumération d'échantillon aléatoire

La méthode de l'énumération d'échantillon aléatoire utilise un échantillon aléatoire des envois comme représentatif de l'ensemble des envois. Le partage modal prévu par cette échantillon est considéré comme l'estimation du résultat de la méthode d'énumération complète ($w(i)$).

$$\hat{W}(i) = \frac{1}{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} P(i / \mathbf{x}) \quad (2.35)$$

où N_s est le nombre d'envois

La méthode de l'énumération d'échantillon aléatoire peut être aussi utilisée dans le cas d'échantillons non aléatoires. Supposons que parmi les envois de groupes différents, des envois soient sélectionnés par des ratios différents, on peut donc appliquer l'approche à chaque groupe, on considèrera alors l'estimation du partage modal $w(i)$ comme la somme pondérée de la prévision de chaque groupe.

$$\hat{W}(i) = \sum_{g=1}^G \left(\frac{N_g}{N_t} \right) \frac{1}{N_{sg}} \sum_{n=1}^{N_{sg}} P(i / \mathbf{x}_n) \quad (2.36)$$

où N_{sg} est la taille de groupe g , N_g est l'estimation du nombre des envois totaux dans ce groupe.

2.5.6. Segmentation de marché

Cette méthode est simplement une extension logique de la méthode « naïve ». Etant donné que le résultat de la méthode naïve est imprécis quand la distribution des variables x ont une variance forte, cette approche essaie de regrouper les envois en segments de marché pour que la variance de l'utilité des chargeurs soit minimisée dans chaque groupe et maximisée entre les groupes. Ensuite on appliquera simplement la méthode directe (naïve) à chaque groupe. Le partage modal agrégé est finalement obtenu en prenant la valeur moyenne des probabilités de chaque segment de marché pondérée par les probabilités qu'un envoi tombe dans les segments de marché. La diminution de la variance de l'utilité va réduire le biais d'agrégation résultant de l'utilisation des valeurs moyennes des variables indépendantes

pour chaque segment de marché, car les caractéristiques des expéditions ou des envois dans n'importe quel groupe ne sont pas significativement différentes.

2.6. Problématique

2.6.1. Sélection des modèles

D'après les analyses développées ci-dessus, pour modéliser le choix modal en transport de marchandises, il existe une grande variété de modèles différents qui ont chacun leurs avantages et inconvénients. Ainsi la sélection de modèle s'avère primordiale pour l'analyse du choix modal. Comme on le sait, le choix modal est non seulement influencé par le service de transport mais aussi par les caractéristiques de demande des chargeurs. Avec les modèles de réseau de marchandises, on peut modéliser et déterminer les flux de chaque mode et surtout de chaque origine-destination, mais il est difficile d'introduire les caractéristiques concrètes de la demande, on ne peut donc pas analyser les influences des changements des caractéristiques des chargeurs sur le choix modal. D'autre part, dans ce type de modèle, on a fait l'hypothèse que l'équipement qui constitue le réseau de transport ne changera pas. Il est donc très difficile d'appliquer ce type de modèle aux problèmes de changement de structure du secteur, d'ajustements dynamiques, etc., qui relèvent d'une approche de long terme. Autrement dit cette approche est inutilisable dans le cadre de l'évaluation d'un nouveau service ou d'un nouvel investissement.

Le modèle de choix modal ou modèle de comportements possède des avantages sur le modèle de réseau . Il permet la variation des composants de la production, on peut donc étudier les ajustements dynamiques au sein des entreprises chargeurs et transporteurs et de l'industrie des transports. D'autre part, on peut calculer la valeur monétaire des services de transport comme la valeur du temps pour les chargeurs, c'est un autre avantage important de ce modèle. C'est pourquoi depuis des années, ce type de modèle est étudié et utilisé largement pour analyser les influences des changements de la demande et de l'offre sur le choix modal.

Cependant, il reste le choix entre approche agrégée ou désagrégée. Le choix entre ces deux types des modèles dépend des objectifs de l'étude et du coût d'obtention des données. Si l'on veut prévoir les trafics agrégés, il est préférable d'utiliser des données agrégées car les données désagrégées basées sur des données d'enquêtes élargiront l'intervalle de confiance des résultats. D'autre part, si l'on veut simuler comment les décideurs/chargeurs répondent

aux changements de demande et d'offre de transport, les données désagrégées conviendront mieux à ce type de problématique.

Un aspect très important pour le modèle de choix désagrégé est la diversité des types de modèle comme des formes fonctionnelles. Ceci peut induire des problèmes significatifs pour l'analyse du choix modal, car les résultats empiriques comme les élasticités et les valeurs du temps dépendent forcément de cette diversité.

On peut comparer le modèle probit et le modèle logit. Le modèle logit suppose que ε_i est une variable indépendante aléatoire qui suit une distribution de *Gumbel*, cette hypothèse est équivalente à l'hypothèse *IIA* (« *independence of irrelevant alternatives* »). Dans ce cas, les paramètres de la fonction d'utilité sont fixés, le problème est qu'il n'existe aucune garantie que les paramètres possèdent des valeurs uniques et ne dépendent pas des caractéristiques socio-économiques des chargeurs.

L'hypothèse IIA du modèle MNL énonce que si deux modes sont disponibles et qu'un nouveau mode est introduit, le ratio de probabilité des deux modes existants ne changera pas, quelque soit la probabilité de choix pour le nouveau mode, c'est-à-dire que le ratio de probabilité de choisir n'importe lequel des deux modes ne dépend pas des attributs du troisième mode (alternative), en réalité ce n'est pas le cas.

$$\frac{P_n(i)}{P_n(j)} = \frac{\exp(V_{in})}{\exp(V_{jn})} \quad (2.37)$$

Cela veut dire que les élasticités croisées ne sont pas identiques, autrement dit :

$$\frac{\partial \log p_k(i)}{\partial \log X_{jk}} \neq \frac{\partial \log p_k(l)}{\partial \log X_{jk}} \quad (2.38)$$

dont $j \neq i, l$

Le modèle probit permet aux termes d'erreur ε_n^* d'être corrélés entre eux, cela signifie que le modèle Probit peut traiter les problèmes que l'on ne peut traiter sous l'hypothèse IIA. Par exemple, il peut capturer les différences d'utilités et incorporer facilement une série de paramètres qui dépendent des autres caractéristiques des chargeurs. Il permet aussi d'introduire une distribution normale des paramètres de la fonction d'utilité. De plus, le

modèle MNP peut être facilement agrégé, donc on peut calculer plus facilement les élasticités agrégées, ce qui est un des objectifs de la modélisation.

Le principal inconvénient du modèle MNP tient à la complexité de calcul des densités de probabilités normales multidimensionnelles, ainsi que son application à des situations de choix où les alternatives sont nombreuses. Maintenant nombre de solutions ont été proposées pour résoudre ce problème, une programmation informatique particulière est nécessaire selon les cas.

2.6.2. Caractéristiques de la Demande et de l'Offre

Le choix modal en transport de marchandises est un problème beaucoup plus complexe que celui en transport de voyageurs. Bien qu'il existe une profusion de recherches qui se consacrent à mieux comprendre le processus de décision des chargeurs concernant le choix modal de marchandises, en raison de la complexité de la demande de transport de marchandises, la recherche en modélisation du choix modal de marchandises avance moins rapidement que celle en voyageurs, bien que des progrès considérables aient été effectués pendant les années 80. En particulier, on constate un retard de la France sur les autres pays anglo-saxons en termes de techniques utilisées surtout par rapport aux spécifications MNL et MNP. A ma connaissance, en France, il n'existe aucun modèle de choix discrets désagrégés du type MNL ou MNP ayant été établi pour le transport de marchandises.

Dans tous les cas, les chargeurs choisissent le mode de transport selon les attributs des modes de transports pour minimiser le coût généralisé de transport, mais ce choix modal est aussi influencé par les caractéristiques socio-économiques des chargeurs et surtout par le système logistique qui détermine la commande des fournitures, l'expédition des produits et la gestion des stocks, voire même la taille de l'entreprise et la localisation des usines. Cependant, parmi les études existantes sur le choix modal de marchandises, les variables explicatives utilisées sont classiquement le coût de transport, le temps de transport, la fréquence, les dommages occasionnés, la fiabilité, la valeur des marchandises, la taille des envois, etc.. Il n'existe pas d'études qui traitent systématiquement les effets du développement du système logistique. En effet, la logistique avancée, qui reflète la hiérarchie des valeurs et des besoins particuliers des clients, transforme les exigences de nombreuses entreprises en matière de transport. Le choix modal, comme élément de la décision logistique d'une entreprise, sera donc de plus en plus influencé par les exigences de qualité en logistique.

2.6.3. Valeur du Temps

En matière de VDT, un problème majeur concerne la prise en compte des caractéristiques des marchandises ou des chargeurs. Par exemple, la nature des marchandises joue un rôle important pour le choix modal, on peut dire que la valeur d'une unité de gain de temps pour des marchandises diverses sera plus haute que la valeur du temps du transport en vrac, car la valeur moyenne par unité de poids est plus grande pour les marchandises diverses que pour les marchandises en vrac. Cela implique que les coefficients des variables des services de transport dépendent des caractéristiques des marchandises ou des chargeurs dans la fonction d'utilité, on peut donc réécrire l'équation (2.16) en forme linéaire comme :

$$U = \beta_0 + \sum \beta_i * Z_i + \sum \gamma_i * S_i + \varepsilon \quad (2.39)$$

où $\beta_i = f(S_1, S_2, \dots, S_n)$ et S_q désigne les caractéristiques des marchandises et des chargeurs.

Si l'on sépare le temps et le prix à partir des attributs de transport, la fonction d'utilité devient :

$$U = \beta_0 + \beta_t * T + \beta_p * P + \sum \beta_i * Z_i + \sum \gamma_i * S_i + \varepsilon \quad (2.40)$$

Avec cette fonction d'utilité dont les coefficients de temps de transport sont fonction des caractéristiques des marchandises et des chargeurs, la VDT peut donc suivre une distribution selon les caractéristiques des envois et les caractéristiques des chargeurs.

$$VDT = f(S_1, S_2, \dots, S_n) / \beta_t \quad (2.41)$$

On peut exprimer ce problème en introduisant des paramètres aléatoires dans le modèle où β_n suit une distribution aléatoire de moyenne β et φ_n est un vecteur définissant la différence entre le paramètre du chargeur n et la valeur moyenne des paramètres :

$$\beta_n = \beta + \varphi_n \quad (2.42)$$

ainsi la fonction d'utilité s'écrit :

$$U_m = \beta_n' X_m + \varepsilon_m = \beta' X_m + (\varphi_n' X_m + \varepsilon_m) \quad (2.43)$$

Si φ_n suit une distribution normale multivariée de moyenne nulle et de matrice variance-covariance Σ_φ et ε_n suit aussi une distribution normale, ainsi la combinaison linéaire $\varepsilon_{in}^* = \varepsilon_{in} + \varphi_n' X_{in}$ suit en conséquence une distribution normale de moyenne nulle et de matrice variance-covariance: $\Sigma_\varepsilon + X_n' \Sigma_\varphi X_n$. On voit que dans ce cas, le modèle logit standard va conduire à une erreur énorme car l'hypothèse IID des termes d'erreur n'est plus satisfaite. Au contraire, le modèle probit peut nous permettre l'introduction de coefficients aléatoires.

2.6.4. Méthode d'Agrégation

En comparant toutes ces méthodes d'agrégation, aucune approche ne semble dominer les autres car le coût et la précision des calculs, les besoins en données et la faisabilité de chaque méthode sont très différents dans chaque cas. En ce qui concerne la *méthode d'énumération complète*, l'on ne peut malheureusement jamais connaître les attributs concernés de tous les envois dans un groupe, d'ailleurs même si l'on pouvait les connaître, les temps de calcul pour tous les envois seraient prohibitifs. Quant à la *méthode naïve*, le biais d'agrégation va théoriquement conduire à des erreurs dans la prévision du partage modal. Une propriété du biais d'agrégation est qu'il va conduire à surestimer le partage modal du mode de transport dominant.

Ainsi, il faut trouver une méthode approximative qui puisse fournir la meilleure combinaison entre coût du recueil des données et précision des résultats. La *méthode Talvite* indique que le partage modal prévu par la méthode d'énumération complète est approximativement égal au partage prévu par la méthode d'agrégation directe (méthode naïve) plus un terme correcteur qui dépend conjointement de la variance de l'échantillon et de la valeur prévue par la méthode naïve. Malheureusement, il n'existe aucune garantie que l'équation avec terme correcteur fournira des résultats plus précis que par la méthode d'énumération naïve. D'autre part, l'application de la méthode Talvite exige le calcul de la valeur de la variance d'échantillon $cov(x_r, x_r)$ qui ne peut pas normalement être déduite à partir de données agrégées et est de fait difficile à calculer.

Les résultats de partage modal par la *méthode de l'énumération d'échantillon* aléatoire sont tirés d'un échantillon, en conséquence l'erreur de prévision est liée à l'erreur d'échantillonnage qui peut être grande lorsque la taille d'échantillon est petite. En réalité, un échantillon n'est toujours pas disponible. En matière de *méthode d'intégration explicite*, jusqu'à maintenant, il n'existe pas de résultats disponibles pour le modèle multinomial. D'autre part, l'hypothèse que les variables explicatives suivent une distribution normale n'est

peut-être pas vraie, surtout pour les variables qualitatives (dummy), sans parler que la valeur moyenne de la probabilité $w(i)$ doit être calculée par la technique d'intégration numérique, exercice de calcul très lourd.

A partir des applications empiriques développées en transport de voyageurs, les méthodes les plus utilisés sont la classification ou l'énumération aléatoire. En particulier, la *méthode de classification* marche très bien surtout pour la prévision spatiale désagrégée. En revanche, l'énumération aléatoire est souvent utilisée pour la prévision régionale. En ce qui concerne les autres méthodes, elles sont très rarement utilisées en raison de l'imprécision des prévisions et de la difficulté des calculs. Le problème majeur est qu'il existe très peu d'études empiriques qui concernent l'agrégation des modèles en transport de marchandises.

Conclusion

Ce chapitre a analysé le développement des méthodes d'analyse du choix modal en transport de marchandises. Après avoir examiné les études existantes, il apparaît que les deux problèmes suivants concernent le domaine du transport de marchandises :

1. Quels sont les facteurs les plus importants qui influencent le choix modal ? Comment le système logistique des chargeurs influence-t-il le choix modal ?
2. Bien que nombre d'efforts aient été entrepris pour saisir la relation entre la valeur du temps et la valeur des marchandises ou la distance, quelle est la relation entre la valeur du temps et les autres facteurs logistiques des chargeurs ?
3. En transport de marchandises, quelles sont les méthodes d'agrégation pouvant être utilisées pour prévoir le partage modal et analyser les effets des politiques et systèmes logistiques ?

Cela constitue un des objectifs de cette thèse. Aussi, le chapitre suivant va présenter la méthodologie à utiliser pour analyser ces trois types de problèmes.

CHAPITRE 3

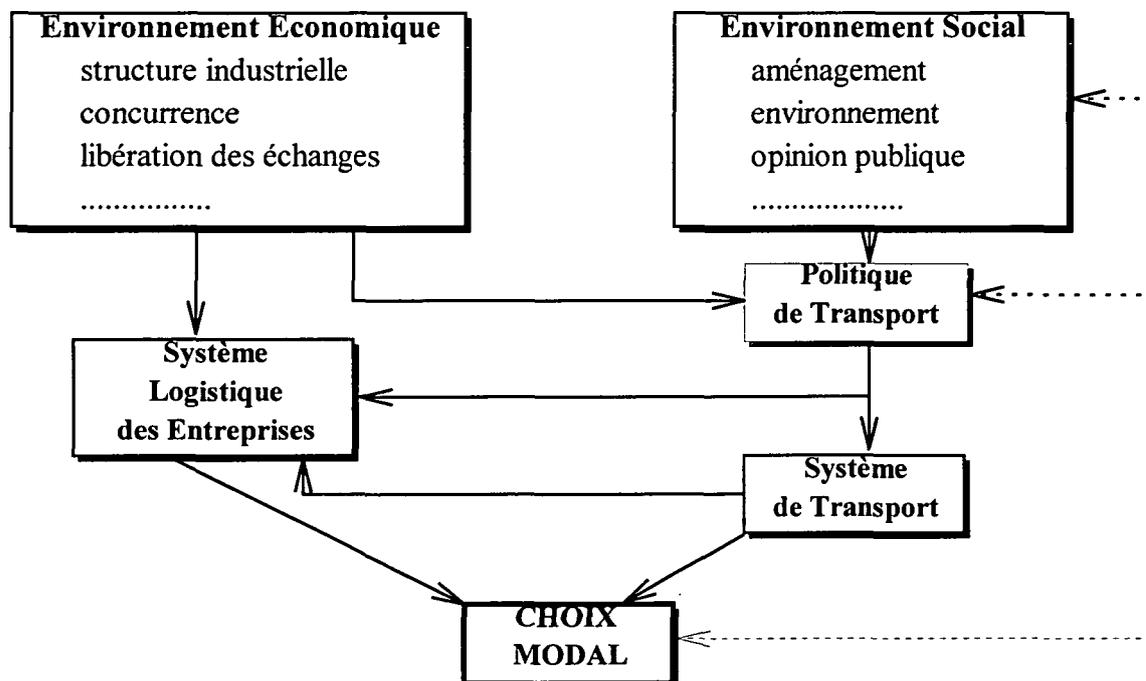
METHODOLOGIE DE RECHERCHE

Pour répondre aux questions de choix modal de marchandises énoncées à la fin du chapitre précédent, ce chapitre va traiter des méthodes qu'on va utiliser dans la suite de cette thèse. Ces méthodes concernent généralement l'analyse du système logistique, des modèles à utiliser, de l'interprétation des résultats des modèles et de l'agrégation des résultats désagrégés.

3.1. Système Logistique et choix Modal

Le développement économique et social comme l'évolution des structures industrielles, la concurrence, les politiques d'aménagement, l'environnement, l'opinion publique, etc. sont autant de facteurs qui influencent le développement du système de transport et de la demande de transport des chargeurs. Côté demande de transport, le système logistique des chargeurs joue un rôle très important car il conditionne le processus entier de production et de distribution et la chaîne de transport. Ainsi, confronté à un système de transport comportant un certain nombre de modes ou de solutions de transport dans le cadre de besoins précis de production et de distribution, le chargeur effectue son choix modal en vue de résoudre un problème donné de transport. A son tour, le choix modal du chargeur exerce aussi un impact sur le système de transport et la politique de transports. Le graphique ci-dessous cherche à représenter le problème de choix modal auquel doit faire face le chargeur :

GRAPHIQUE 3.1. LE SYSTEME LOGISTIQUE ET LA DECISION DE CHOIX MODAL



Sur ce graphique, on voit donc que la décision de choix modal des chargeurs s'appuie sur un 'trade-off' entre coût généralisé de transport et coûts logistiques. Le coût généralisé de transport est déterminé par les services de transport ainsi que par le système de transport caractérisé entre autres choses par le temps, le prix, la fiabilité et la flexibilité des transports. Le coût logistique est déterminé par les facteurs logistiques ainsi que les système logistiques des chargeurs comme l'implantation géographique des usines et entrepôts, l'ordonnancement de la production, la gestion des stocks, le suivi et traitement de l'information, la protection des produits, etc.. Les conséquences de la mutation de ces facteurs logistiques déterminera forcément le choix modal. Par exemple, la configuration de l'envoi détermine de façon prépondérante le choix modal, à partir du nombre d'envois annuel et de leurs poids annoncés, on peut déterminer par quel moyen et dans quelles conditions (trafic conteneurisé ou conventionnel, groupage ou lot, palettisé ou non) on pourra les transporter. Ainsi, le développement du système logistique et ses effets sur le choix modal doivent être étudiés attentivement. Cela constitue l'objectif principal de cette recherche.

3.2. Le Processus de Modélisation

Le marché de transport est constitué d'un nombre de systèmes ou modes de transport qui se trouvent en situation de concurrence et entre lesquels le client effectue son choix,

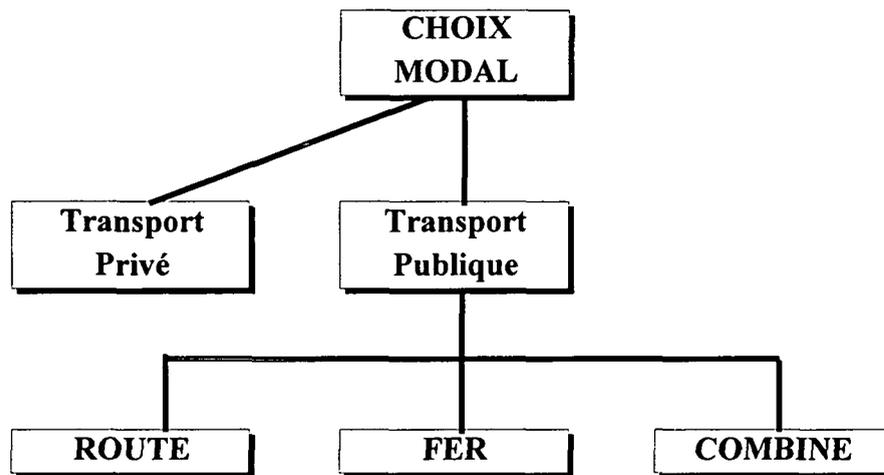
librement et en connaissance de cause, à partir des besoins et des objectifs économiques de son entreprise. Selon les analyses développées dans le chapitre 1, les trafics de marchandises terrestres se répartissent principalement parmi les trois modes de transports suivants : la route, le fer et le transport combiné. La modélisation du choix modal doit donc se focaliser sur ces trois modes de transport.

Cependant, pour un transport de marchandises donné, les chargeurs ont tout loisir d'effectuer eux-mêmes le transport de leurs marchandises avec leurs propres véhicules et leur propre personnel, autrement dit recourir au transport privé. Depuis longtemps, le transport privé est considéré comme un moyen de transport en zone courte et ne constituant pas un mode concurrentiel aux autres modes de transport en zone longue. Malheureusement, avec le développement des systèmes logistiques, si les transporteurs ne sont pas capables d'introduire avec succès de nouveaux services à valeur ajoutée, on pourrait assister à une inversion de tendance en faveur du recours au compte propre. Ce qui devrait conduire à une augmentation supplémentaire du trafic routier. En conséquence, il s'avère nécessaire d'étudier les effets du système logistique sur la décision de choix du transport privé.

En résumé, le système de transport étudié est constitué de quatre modes de transport : transport privé (compte propre), transport en compte d'autrui par route, fer et combiné. Si les quatre modes de transport satisfont l'hypothèse IID, on peut modéliser le choix modal de ces quatre modes en utilisant le modèle multinomial logit. Malheureusement, la réalité dans ce cas ne satisfait pas cette hypothèse, au moins pour les trois modes en compte d'autrui qui sont très corrélés.

En effet, on peut décomposer le processus de choix modal des chargeurs en deux étapes. Premièrement, on prend la décision de choix modal entre transport privé et transport public, ensuite, intervient le choix du moyen de transport parmi les modes de transport public (route/fer/combiné). On peut donc modéliser cette décision de choix modal en utilisant le modèle logit emboîté. Le graphique ci-dessous représente le processus de choix modal.

GRAPHIQUE 3.2. LE PROCESSUS DE CHOIX MODAL TRAITÉ DANS LA RECHERCHE



Ainsi, on modélise tout d'abord le choix modal entre trois modes publique par le modèle trinomial logit suivant :

$$P_n(F / TP) = \frac{\exp(V_{Fn})}{\exp(V_{Fn}) + \exp(V_{Rn}) + \exp(V_{Cn})} \quad (3.01)$$

TP : Transport publique

Ensuite on modélise le choix entre le transport publique et privé par un modèle binaire logit :

$$P_n(TPR) = \frac{\exp(V_{TPRn})}{\exp(V_{TPRn}) + \exp(V_{TPn})} \quad (3.02)$$

TPR : Transport privé

où V_{TP} représente l'utilité du transport publique et peut être exprimée comme :

$$V_{TPn} = \phi \log [\exp(V_{Fn}) + \exp(V_{Rn}) + \exp(V_{Cn})] \quad (3.03)$$

Enfin, les probabilités de choix pour chaque mode de transport peuvent être données par les équations suivantes :

$$P_{TPR} = P(TPR)$$

$$P_F = P(F/TP) * P(TP) = P(F/TP) * (1 - P_{TPR})$$

$$P_R = P(R/TP) * P(TP) = P(R/TP) * (1 - P_{TPR})$$

$$P_C = P(C/TP) * P(TP) = (1 - P(F/TP) - P(R/TP)) * (1 - P_{TPR})$$

En effet, même avec modèle logit emboîté, on ne peut pas traiter des variations des caractéristiques des chargeurs ; on a alors besoin d'un modèle avec paramètres aléatoires comme le modèle probit multinomial. Ainsi, après la modélisation avec modèle logit emboîté, on modélise directement les comportements de choix des chargeurs entre quatre modes de transport en utilisant le modèle probit multinomial.

Pour n'importe quel type de modèle, le résultat principal de ces modèles se compose de l'estimation des coefficients ou paramètres des variables explicatives. Selon les types variables explicatives, on peut distinguer les modèles entre multinomial et conditionnel.

Le modèle multinomial traite des variables *spécifiques aux individus*, comme le poids des marchandises qui possède la même valeur pour toutes les alternatives et varie seulement parmi les chargeurs. Evidemment, les facteurs logistiques sont des variables spécifiques aux individus avec lesquels on peut constituer un modèle multinomial coté demande pour analyser les effets du système logistique. Dans ce cas là, la fonction d'utilité linéaire pour alternative i et le chargeur n peut être exprimée comme :

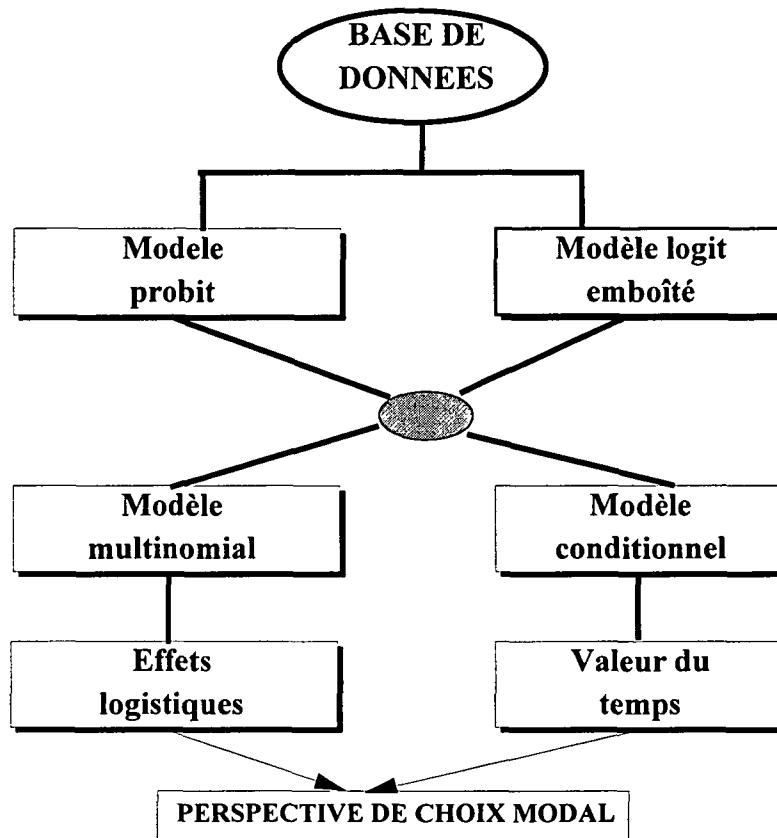
$$V_{in} = C + \sum_j^M \beta_{ji} * X_{jn} \quad (3.04)$$

D'autre part, le modèle conditionnel traite des variables explicatives *spécifiques aux alternatives* comme le prix de transport et le temps de transport, ces variables prennent des valeurs différentes suivant l'alternative choisie pour un même chargeur. Selon cette définition, les services de transport sont des variables spécifiques aux alternatives qui nous permettent de constituer un modèle conditionnel coté offre pour évaluer les valeurs monétaires des services de transport comme la valeur du temps. La fonction d'utilité linéaire est différente de celle du modèle multinomial et peut être représentée sous la forme suivante :

$$V_{in} = C + \sum_j^M \beta_{ji} * X_{jin} \quad (3.05)$$

Le graphique ci-après schématise le processus de modélisation du choix modal mis en œuvre dans cette recherche :

GRAPHIQUE 3.3. LE PROCESSUS DE MODELISATION UTILISE DANS LA RECHERCHE



3.3. Agrégation des Modèles

Etant donné les problèmes de complexité des calculs, dans cette recherche, on utilisera la méthode de segmentation du marché et la méthode directe d'agrégation. La segmentation de marché consiste à distinguer les envois en groupes homogènes qui possèdent des caractéristiques logistiques identiques ou des utilités représentatives identiques. Les envois dans chaque groupe homogène auront les mêmes probabilités de choix pour des alternatives différentes. Evidemment, tous les envois dans le même segment de marché n'effectueront pas le même choix, car le choix réel est aussi déterminé par des facteurs aléatoires inobservés.

Techniquement, la technique de segmentation de marché comporte la détermination des segments de marché définis par une série de variables de classification en vue de minimiser la variabilité de l'utilité représentative (donc le biais d'agrégation). Pour segmenter le marché, seules les variables importantes pour l'explication du comportement des chargeurs

doivent être sélectionnées, il faut réduire le plus possible le nombre de segments du marché. Dans les deux cas suivants, on ne doit pas distinguer un segment du marché :

1. Dans un segment de marché, un des modes de transport est dominant et donc la probabilité de choisir ce mode est égale à l'unité.
2. Dans l'échantillon, si tous les envois sont homogènes pour une des variables de classification, il n'est pas nécessaire de segmenter le marché selon cette variable.

En ce qui concerne la détermination du nombre de catégories pour chaque variable de classification, il s'agit d'un trade-off entre la diminution du biais d'agrégation et la complexité de la segmentation. En conclusion, avec cette méthode, les étapes en vue de la prévision et de l'analyse des effets des variables peuvent être résumées comme suit :

1. Déterminer comment segmenter le marché à partir de la base de données. La segmentation du marché consiste en la sélection des variables de classification et la détermination du nombre des catégories pour chaque variable.
2. Pour chaque segment de marché, calculer la probabilité qu'un envoi appartienne à ce segment, ainsi que la proportion des envois qui tombent dans ce segment. Calculer aussi les valeurs moyennes des variables indépendantes pour tous les envois dans ce segment.
3. En utilisant les valeurs moyennes des variables indépendantes, calculer les partages modaux (probabilités de choix) de chaque segment par le modèle.
4. Pondérer les partages modaux de chaque segment du marché par la proportion des envois (la probabilité qu'un envoi aléatoire tombe dans un segment de marché particulier) et combiner tous ces partages modaux pondérés pour obtenir la base des partages modaux agrégés.

3.4. Interprétation des Modèles

L'objectif majeur de la modélisation est de fournir un outil pour l'analyse socio-économique. La réalisation de cet objectif dépend de l'interprétation des résultats des modèles. Cette difficulté est rarement prise en compte par le sociologue ou l'économiste. Dans cette thèse, on utilise principalement les méthodes suivantes d'interprétation des paramètres:

3.4.1. Utilités Marginales

Normalement, avec un modèle de régression linéaire classique, le calcul de l'utilité est simple. On peut dire qu'une augmentation d'une unité de la variable explicative (X) conduira à β (coefficients) unités d'augmentation ou de diminution de la fonction d'utilité. Cependant, cette interprétation n'est pas utile pour le modèle de choix discret car l'utilité ici n'est pas directement interprétable. Souvent, il est intéressant d'interpréter les effets d'un paramètre estimé β sur l'utilité transformée et non pas l'utilité elle-même (Tim Futing Liao, 1994). Pour le modèle logit binaire, la forme de l'utilité transformée est donnée par l'expression :

$$\exp(\beta) = P(Y=1)/(1-P(Y=1)) \quad (3.06)$$

Les effets des variables X ainsi que l'utilité transformée marginale représentée par $\exp(\beta)$ sont actuellement sous forme de ratios de probabilités de choix. En conséquence, s'il y a changement d'une unité des variables explicatives, on peut connaître le ratio de probabilité avant et après ce changement. L'interprétation devient alors plus intuitive. Ce type d'interprétation peut être aussi appliqué aux variables dummy. Dans ce cas là, une unité de changement des variables explicatives indique la transition d'une situation à une autre. Un ratio de probabilité supérieur à 1 indique qu'il y a plus de chance de réalisation pour l'événement présenté que pour l'événement non présenté.

Pour le modèle probit, parce qu'il n'existe pas de moyen simple de transformation de la fonction utilité, l'interprétation des effets marginaux sur l'utilité est difficile et conduit à l'hypothèse contraignante de linéarité et d'additivité des effets des variables sur la fonction de distribution normale standard cumulative.

3.4.2. Probabilités Marginales

En plus d'examiner les effets marginaux d'une variable sur l'utilité transformée, on peut aussi considérer les effets marginaux des variables sur les probabilités de choix, cela peut s'avérer très utile. Généralement les effets marginaux sont exprimés par les dérivées des probabilités par rapport aux variables explicatives. Dans le cas du modèle logit la formule est développée ci-dessous :

$$\frac{\partial \text{Prob}(y = j)}{\partial x_k} = P_j \left(\beta_{jk} - \sum_{j=1}^{J-1} P_j \beta_{jk} \right) \quad (3.07)$$

où β_{jk} représente le coefficient de la variable X_k et P_j désigne $\text{Prob}(y=j)$.

A la différence de l'interprétation des effets sur l'utilité transformée qui ne varie pas avec les variables indépendantes, les effets marginaux sur la probabilité de choix changent avec les valeurs des variables explicatives X et donc leurs probabilités associées. Pour les calculer, on doit tout d'abord déterminer le niveau de chaque variable. Normalement pour les variables que l'on n'a pas choisies à analyser, l'on prendra les valeurs moyennes.

Mais la dérivée est généralement définie pour des variables continues, pour les variables discrètes comme les variables dummy, cette dérivée est une mauvaise approximation des effets marginaux. Une meilleure estimation consiste à calculer la différence de probabilités prévues conditionnelles entre deux modalités de la variable dummy.

3.4.3. Elasticités

Un autre moyen d'interprétation des modèles de choix discrets est de recourir au concept d'élasticité. L'élasticité représente la réponse de la probabilité de choix au changement marginal de la variable explicative ($\pm 1\%$). Pour le modèle logit, l'élasticité directe est donnée par l'expression suivante :

$$E_{x_{ik}}^{P(i)} = \frac{\partial P(i)}{\partial x_{ik}} * \frac{x_{ik}}{P(i)} = [1 - P(i)]x_{ik} \beta_{ik} \quad (3.08)$$

En présence d'une variable 'alternative-specific' dans le modèle, un changement de cette variable va influencer non seulement la fonction qui l'inclue mais aussi les autres fonctions d'utilité. Ainsi, l'élasticité croisée de la probabilité d'alternative i par rapport à une variable d'alternative j est donnée par :

$$E_{x_{jk}}^{P(i)} = -P_n(j)x_{jk} \beta_{jk} \quad (3.09)$$

3.4.4. Valeur du Temps

En transport de marchandises, à l'aide des modèles de choix discret, un autre objectif important est d'interpréter comment les chargeurs évaluent les valeurs monétaires des changements des services de transport par les coefficients des variables. La valeur du temps

qui est mesurée en utilisant le ratio entre les coefficients de temps et de coût, est un de ces types d'interprétation des résultats du modèle.

La valeur du temps est liée étroitement aux caractéristiques des marchandises ou des chargeurs. Mais cela ne signifie pas que la valeur du temps en transport de marchandises est trop hétérogène à estimer avec un modèle de choix discret. En segmentant le marché selon les facteurs logistiques, on peut obtenir des séries de valeur du temps. D'autre part, la valeur du temps est très influencée par la taille de l'envoi, la distance, la valeur de la marchandise, etc.. Dans cette thèse, on va essayer de trouver des relations fonctionnelles entre la valeur du temps et ces facteurs.

Conclusion

La méthode d'analyse développée dans cette recherche consiste tout d'abord à analyser le développement du système logistique et ses relations avec le choix modal marchandises. Ensuite, après construction d'une base de données, des modèles logit désagrégés emboîté et des modèles logit multinomial ou modèles probit seront établis, avec ces modèles, les effets du système logistique sur le choix modal de marchandise et les valeurs du temps des chargeurs seront analysés. Pour finir, en agrégeant les résultats avec la méthode de segmentation adéquate, les perspectives du partage modal seront prévues. Ainsi, l'analyse du système logistique constitue bien sûr le contenu du chapitre qui vient.

CHAPITRE 4

SYSTEME LOGISTIQUE ET CHOIX MODAL

Le choix modal du transport de marchandise est un élément du système logistique des entreprises. Depuis ces 10 dernières années, en raison de changements dans l'environnement économique, une logistique avancée a été introduite dans la production et la distribution, est-ce que cette logistique avancée a conduit à un changement important de la demande de transport ainsi que des comportements de choix modal ?, ce chapitre tentera de répondre à cette question et plus généralement aux relations entre système logistique et choix modal en transports de marchandises.

4.1 Activités Logistiques des Entreprises

Le système logistique consiste en une approche développée dans l'industrie pour traiter les problèmes internes et externes associés aux modifications du système de production et de la chaîne de distribution physique. Il concerne les chaînes de production, de distribution et de transport et permet aux entreprises de réagir rapidement à l'évolution de la demande en améliorant la qualité de service et en diminuant les coûts de production et de distribution .

Les activités logistiques ont trait aux aspects stratégiques et tactiques de l'entreprise. Une décision stratégique est une action de long terme des chargeurs qui détermine la sélection des marchés et des fournisseurs ainsi que le choix de localisation des usines et des entrepôts. Cette décision détermine finalement la configuration des flux de marchandises de l'origine i à la destination j pendant une période. La décision tactique concerne la gestion de production, de stocks et de distribution, c'est une action de court terme du chargeur qui détermine la taille d'expédition, la fréquence, le conditionnement, etc.. Evidemment, un changement d'emplacement exige presque toujours du temps et des investissements significatifs, mais un changement tactique comme la taille d'expédition peut être modifié sur une période très courte et à un coût très faible.

Les décisions logistiques déterminent donc non seulement les relations entre partenaires, mais également le choix modal de transport. Généralement, les activités logistiques des chargeurs concernent principalement les opérations suivantes : implantation

géographique des usines et des entrepôts, ordonnancement de la production, gestion des stocks, protection des produits et choix des solutions transport. On peut résumer l'ensemble des activités logistiques qui influencent le transport de marchandises en trois groupes.

4.1.1. Les Activités de Planification

Les activités de planification du chargeur concernent l'emplacement de l'usine, des approvisionnements et des stratégies de marché à long terme, à ce niveau de la décision stratégique, toutes ces activités sont variables à la discrétion du chargeur. Le choix de l'emplacement des usines et le choix des fournisseurs et des marchés fixent les distances sur lesquelles les marchandises doivent être transportées. Le choix de la taille d'usine encadre la taille de volume de chaque type de marchandise qui doit être déplacée. La taille de l'entreprise détermine aussi le processus de décision logistique. Dans les petites entreprises, le patron pourra assumer ce rôle, mais dans les grandes entreprises, on trouvera des spécialistes par discipline, regroupés plus ou moins « haut » dans l'organigramme. Cette différence détermine aussi la procédure de choix des modes de transport. Les activités de planification peuvent donc être résumées par les variables suivantes :

- nombre d'usines
- taille de l'établissement
- accessibilité des usines à l'infrastructure de transport
- lieu et nombre de points de stockage
- types de produits
- fournisseur et client potentiels

4.1.2. Les Activités de Marché

Les activités de marché concernent l'équilibre de demande à court terme pour les produits transportés. Généralement, l'équilibre du marché est variable à court terme, elle concerne le volume de l'expédition, la destination d'expédition et le niveau de stockage. Ces activités sont représentées par les variables ci-dessous :

- quantité de consommation des produits
- quantité de production des produits

- caractéristiques socio-économiques des consommateurs
- prix original des produits à l'usine
- destination des produits à transporter
- niveau de stockage

4.1.3. Les Activités de Production et de Distribution

Les activités de production et de distribution des entreprises concernent la gestion des flux physiques et de l'information correspondantes. Le choix du contrôle de production et de stockage déterminent la taille et la fréquence d'expédition, qui déterminent à leur tour le conditionnement. Les méthodes de production encadrent aussi les natures de produits à transporter comme les matières premières, les produits semi-finis et la consommation finale. Ces types d'activités peuvent être appréhendés par les variables suivantes :

- densité de la valeur du produit
- densité des produits
- nature des produits (semi-finis ou consommation finale)
- conditionnement des produits
- fréquence d'expédition
- taille d'expédition
- méthode de stockage

4.2. Développement du Système Logistique

Depuis une dizaine d'années, le développement de l'environnement économique a conduit à beaucoup de changements en matière de politique logistique des entreprises. Un des changements vient de la concurrence de plus en plus vive et d'occasions d'augmentation des profits par le développement des ventes de plus en plus rares. Cela a contraint de plus en plus les entreprises, à produire sur mesure pour satisfaire les exigences nouvelles de la clientèle et à élargir le domaine géographique de leurs marchés, ce qui influence finalement la décision d'approvisionnement et de distribution de l'entreprise comme la fabrication et le stockage. Ensuite, la libération des échanges ou l'internationalisation du marché est une des caractéristiques principales des changements observés dans l'économie durant ces dernières années. Elle a pour conséquence d'ouvrir de nouveaux marchés, ce qui se traduit par une plus

grande distance d'acheminement des marchandises. Ainsi on constate que pour l'ensemble des modes, la distance moyenne a augmenté de 88 km en 1980, à 99 km en 1995, pour le transport routier, de 65 km à 85 km (SITRAM).

Face à ce défi, les nouveaux systèmes logistiques sont de plus en plus sollicités par les entreprises pour intervenir en tant qu'arbitres dans les relations entre les secteurs de la production et de la distribution. Les entreprises cherchent à comprimer les coûts sur l'ensemble du circuit de circulation physique des marchandises et à améliorer la qualité du service qu'ils peuvent proposer à leurs clients. Cela consiste à réorganiser partiellement et parfois même totalement les différentes activités de l'entreprise pour les faire coïncider avec les exigences du marché. La mise en application de ce nouveau système logistique d'entreprise a occasionné beaucoup de changements dans les aspects logistiques dont le contrôle des flux physiques devient désormais un élément stratégique (OCDE 1992, Chapuis et al. 1993).

4.2.1. Concentration de Production et de Distribution

Le nouveau système logistique concerne d'abord la concentration de la production et de la distribution. Les entreprises de distribution, qui veulent mieux diversifier leurs activités en particulier dans le domaine de l'approvisionnement tout en recherchant une plus grande expansion géographique, se restructurent progressivement notamment par des regroupements de grands magasins et par une diversification des formes de distribution.

D'autre part, les entreprises de production, qui contrôlent notamment des flux physiques, agissent sur la formation des prix et sur les circuits de distribution, visent à concentrer leurs activités sur quelques sites bien définis afin de bénéficier d'économies d'échelles et accroître leur valeur ajoutée, bien que cela les fasse entrer de manière plus intensive en conflit avec les entreprises de distribution.

La concentration de la production et de la distribution ont conduit à accroître la taille des entreprises. En conséquence, non seulement l'ampleur et la complexité des problèmes logistiques ne seront pas les mêmes, mais encore l'étendue de la responsabilité globale logistique sera variable.

4.2.2. Des Points de Stockage Moins Nombreux

La concentration des usines, le regroupement des grands magasins, grands supermarchés et des grossistes conduit à une diminution du nombre de lieux de stockage et parfois, à un centre unique, pour la distribution à l'échelle d'un continent, en particulier pour les pièces détachées, les composants de valeur élevée et les produits finis qui se présentent sous de multiples variantes. Grâce au partage de ce système de distribution et d'entreposage, des économies d'échelles et d'envergures peuvent être réalisées.

D'autre part, comme le temps nécessaire au développement et à la mise sur le marché de nouveaux produits décroît, le nombre de nouveaux produits qui font souvent appel à de nouveaux fournisseurs et sont souvent vendus à des clients nouveaux augmente, cela se traduit par l'accroissement du nombre des pièces. Pour contrer l'augmentation du coût de tenue des stocks due à ces pièces détachées, il y a concentration des lieux de stockage.

4.2.3. Sous-traitance

Les producteurs se concentrent de plus en plus sur leur métier de base et sous-traitent donc, une plus grande part de la production de leurs composants et services standards, cela permet l'élargissement des sources d'approvisionnement et des chaînes de distribution, en diminuant la nécessité du recours à des partenaires locaux ou nationaux. La mise en oeuvre de systèmes d'information a accéléré cette tendance en permettant aux gestionnaires de contrôler les circuits d'approvisionnement et de distribution sans qu'ils soient propriétaires des actifs correspondants. Avec la sous-traitance, le nombre d'étapes et donc le nombre de noeuds et d'arcs dans la chaîne de la valeur ajoutée augmente, et la couverture géographique des flux physiques devient plus vaste et à plus longue distance.

4.2.4. Flux Tendus

En raison du développement rapide des différents types de produits, les magasins de détail et bureaux de ventes sont souvent incapables de faire face à la nécessité de stocker une grande variété de types de produits ou de répondre à la diversité des besoins des consommateurs. D'autre part, la production n'est plus considérée comme un simple processus de transformation, mais comme une activité complexe et variée. Face à ce changement, des

structures d'organisation à flux tendus sont créées pour épouser les fluctuations de la demande et exercer un contrôle strict des stocks. Dans ce cas, les programmes de production et de distribution sont étroitement liés à la demande du client et peuvent être immédiatement modifiés en réponse à des changements de celle-ci. La taille des expéditions peut être donc modifiée avec un préavis très court.

4.2.5. Traitement de l'Information

L'augmentation de la valeur des produits, la gestion des stocks, la production à flux tendus et la complexité croissante de la chaîne de transport exigent une grande fiabilité dans les opérations d'acheminement des produits et justifient une augmentation substantielle de la masse des informations, la garantie d'une information fiable et la disponibilité de systèmes de communications performants. Ceci constitue une condition préalable à une bonne intégration de la logistique dans les entreprises et au développement d'une collaboration efficace entre partenaires. La transmission d'information presque instantanée et dépourvue d'erreur entre fabricants, transporteurs, clients et intermédiaires est en train de modifier le rôle traditionnel des entreprises et organisations.

4.2.6. Protection des Produits

L'augmentation de la valeur des produits transportés en raison de la part prise par les composants électroniques, nécessite des mesures appropriées pour garantir l'intégrité de la marchandise. Il incombe au chargeur de s'assurer que l'emballage est approprié au produit, tant au regard de ce contenu lui-même que du mode de transport, de stockage sur site et des manutentions. Il ne s'agit pas d'une opération mineure car les conséquences d'un mauvais emballage peuvent être très graves. En effet, la forme et le volume du carton qui est généralement l'unité de commande et de livraison vont être déterminants quant aux coûts logistiques.

4.3. Nouveau Système Logistique et Demande de Transport

La logistique avancée, qui reflète la hiérarchie des valeurs et des besoins particuliers des clients, transforme les exigences de nombreuses entreprises en matière de transport. En conséquence, la chaîne de transport devient de plus en plus complexe et les réseaux de

transport se transforment de simples relations point-à-point en réseaux logistiques plus denses. Cela aura des implications importantes à l'avenir pour la planification, le développement, et l'exploitation des infrastructures de transport.

4.3.1 Nouvelles Caractéristiques de la Demande de Transport

La nouvelle logistique système a modifié fortement les caractéristiques de la demande des chargeurs pour le transport (OCDE 1992, Chapuis et al. 1993, REDIFINE 1997): accessibilité de l'équipement de transport, caractéristiques des expéditions, gestion des flux physiques, conditionnement des produits, distribution géographique des produits, etc.. On peut résumer les aspects les plus importants comme suivants :

accessibilité à l'infrastructure

La sous-traitance, des stockages moins nombreux demandent au service de transport une couverture géographique plus large, et donc une meilleure accessibilité au mode de transport. Par exemple, le développement d'embranchements ferroviaires et l'organisation de réseaux hiérarchisés et complémentaires seront les bienvenus, mais il ne doivent pas en conséquence conduire à une augmentation des coûts, ni à la dégradation de la qualité ou de la vitesse.

fréquence

Les flux tendus en vue de maintenir des stocks à un faible niveau, des points de stockage moins nombreux conduisent à augmenter les mouvements entre les centres de stockage et de distribution. D'autre part, la sous-traitance implique des envois plus fréquents.

taille d'expédition

L'accroissement de produits à valeur élevée, des flux tendus et le développement de la sous-traitance conduisent à des tailles d'expéditions plus faibles. Parallèlement, des points de stockage moins nombreux induisent une augmentation de la taille des expéditions.

Conditionnement - emballage

La demande d'une meilleure protection des produits et la production en flux tendus exigent une garantie d'intégrité des marchandises transportées. L'incidence du conditionnement des marchandises sur le déroulement des opérations de transport est donc considérable en termes de temps d'immobilisation, de coefficient de remplissage et de risques d'avaries. La terminologie de base la plus fréquente est le paquet, colis, caisse, ou palette, mais les techniques en termes d'unités de chargement évoluent rapidement. L'introduction d'unités de chargement plus importantes que les palettes, exemple des caisses mobiles, conteneurs et mini-conteneurs qui protègent avantagement la marchandise, a permis le regroupement rapide de plusieurs unités de chargement sur un seul véhicule puis sur un train ou un navire.

organisation des circuits

La production en flux tendus et la sous-traitance nécessitent souvent de transporter la marchandise faisant partie d'un lot regroupé pour plusieurs clients ou faisant partie d'une tournée. Cela se traduit par une meilleure organisation du circuit à arrêts multiples, par une planification du transport et une définition efficace des itinéraires, en optimisant les opérations de groupage et de triage des produits.

distances de transport

Depuis des années, les distances d'acheminement des marchandises deviennent de plus en plus longues. Cela se vérifie statistiquement par une croissance plus marquée des tonnes kilomètres que des tonnes et par une croissance très forte du volume de marchandises transporté, croissance beaucoup plus marquée en trafic international que national.

Les raisons qui expliquent cette tendance sont certainement doubles. En premier lieu, la globalisation croissante de l'industrie et l'internationalisation se traduisent par la substitution de mouvements internationaux de fret (plus longs) aux mouvements plus courts. En second lieu, il paraît vraisemblable que la restructuration des chaînes d'approvisionnement par de nombreuses entreprises a contribué à allonger les distances de transport entre les usines et les lieux de stockage. Exemple de la sous-traitance et de la centralisation des stocks.

4.3.2. Nouvelles Exigences de Qualité de Service

La réorganisation de la logistique a par conséquent des incidences directes sur le transport et détermine de nouvelles exigences dans l'acheminement. Qu'il s'agisse, par exemple, d'exigences en termes de rapidité, fiabilité, flexibilité et coûts des transports, etc.. Face à ces exigences et dans un contexte de concurrence de plus en plus forte entre les modes de transport, chaque transporteur doit faire des efforts pour améliorer sa qualité de service et satisfaire la demande de transport. C'est sur la base de l'évaluation monétaire des qualités de services que les chargeurs prendront leur décision de choix modal.

rapidité

Le développement des méthodes à flux tendus entraîne une diminution des délais de livraison. Le respect de cette exigence nouvelle, sans accroissement excessif des coûts de transports, suppose la mise en oeuvre d'améliorations dans l'organisation du transport. Ces facteurs conduisent à un glissement vers plus de transport et par des modes plus rapides. D'autre part, des stockages moins nombreux et le recours à la sous-traitance exigent aussi des transports plus rapides et plus fiables.

fiabilité

Elle signifie l'aptitude du système de transport à assurer un service conforme aux impératifs spécifiques relatifs à tous les facteurs liés au temps en ce qui concerne l'enlèvement et la livraison. En logistique avancée, la fiabilité des transports est beaucoup plus importante qu'autrefois. Par exemple, certaines entreprises n'ont qu'un jour de matières premières nécessaires à la production en stock, un retard d'une journée dans la livraison peut suffire à arrêter toute la production. Pour la même raison, la fiabilité peut avoir beaucoup plus d'importance que le temps de transport, si bien qu'il peut être préférable d'avoir un temps de transport de deux jours, avec une très bonne fiabilité, qu'un temps plus court mais dont on est moins sûr.

flexibilité

Ce facteur, qui a pris beaucoup d'importance, est défini ici comme la souplesse d'adaptation du système de transport ou la possibilité d'utilisation immédiate face à des variations quotidiennes des horaires d'enlèvement et des quantités à livrer. Les chemins de fer n'ont jamais été et ne seront jamais en mesure d'offrir la même flexibilité de service que la route. La flexibilité est donc à présent une autre raison majeure du choix des transport routiers au détriment du mode ferré.

sécurité

La croissance plus rapide des industries technologiques avancées a entraîné une utilisation accrue des composants électroniques pour remplacer les fonctions mécaniques. Cela conduit à augmenter la valeur des envois et demande une meilleure protection du produit. Ainsi, la sécurité vise à limiter au minimum les taux de pertes et de dommages matériels et à conserver les marchandises en parfait état.

coût de transport

Malgré l'introduction de systèmes logistiques avancés, le coût de transport n'est plus un facteur déterminant du choix modal, les chargeurs évaluent conjointement le coût de transport avec d'autres services de transport comme le temps de transport, la fiabilité etc.. On apprécie les services de transport par leur valeur monétaire comme la valeur du temps. Selon les valeurs monétaires des services de transport, les chargeurs décideront s'il convient de payer une amélioration des services de transports ou non.

4.4 Comportement de Choix Modal

4.4.1. Processus de Choix Modal

Comme on le sait, le choix modal, comme élément de la décision logistique d'une entreprise, sera de plus en plus influencé par les exigences de qualité en logistique. Le choix du mode de transport est donc déterminé suivant une hiérarchie décisionnelle comprenant la décision stratégique (dite de long terme) et la décision tactique (dite de court terme) (Rebert

and Ben-Akiva, 1977). Dans une décision stratégique, tous les choix sont conjointement déterminés, un changement du choix de long terme conduira à une re-considération de tous les choix de court terme, y compris le mode de transport. Dans une décision tactique, des choix stratégiques sont fixés, et seulement les choix de court terme comme les systèmes de production et de distribution sont ajustés, cela influencera aussi le choix du mode de transport.

A long terme, la décision de choix modal sera peut-être influencée par des décisions stratégiques. Exemple du choix de l'emplacement des usines, de l'emplacement des fournisseurs et de l'emplacement des marchés, détermineront si le rail, l'aérien ou la voie d'eau constituent des options réalistes pour la décision de choix du mode. D'autre part, si un chargeur veut considérer l'utilisation du transport privé, dans ce cas là, le choix modal consistera en une décision d'investissement de long terme.

A court terme, selon les exigences du système logistique, les chargeurs prendront tout d'abord la décision de choix combinée entre choix du mode au regard de la taille d'expédition. En effet, il existe beaucoup de possibilités pour une combinaison mode/taille d'expédition. Pour déterminer les combinaisons possibles, de nombreuses variables de transport pouvant être considérées par les chargeurs, par exemple :

- agence intermédiaire de fret
- transport privé routier
- transport public routier
- fer (train complet, wagon isolé)
- colis, conteneurs, palettes, etc.
- transport combiné

Une fois que les solutions possibles pour la combinaison de mode/taille d'expédition ont été déterminées, la décision de choix modal sera ensuite basée sur la qualité de service offerte par les modes de transport en vue de minimiser le coût généralisé de transport et le coût logistique. Les attributs des services de transport dépendent non seulement du mode, mais également du produit transporté et de la taille d'expédition. Ils consistent en les facteurs suivants :

- temps d'attente

temps de transport
fiabilité du temps
dommages et pertes de produits
tarifs de transport
autres coûts
taille d'expédition minimale
services spéciaux

4.4.2. Les Facteurs Influençant le Choix Modal

Les analyses sur le développement du système logistique nous permettent de disposer de tous les facteurs coté-demande et coté-offre qui influencent le choix modal des chargeurs. Comme pour les activités logistiques, l'on peut distinguer entre approche de long terme et de court terme. Les facteurs à long terme ont trait aux changements occasionnés par la concentration de la production et de la distribution et le développement des techniques d'information :

- caractéristiques de l'entreprise

nature de l'entreprise : usine, entrepôt et centre de distribution
taille de l'entreprise
localisation de l'entreprise (accessibilité au mode de transport)
système d'information de l'entreprise
nature des produits (alimentaire, produits manufacturés, etc.)

Les facteurs de court terme concernent eux les changements concernant les caractéristiques d'expédition générées par l'activité de marché (internationalisation), l'ordonnancement de la production (sous-traitance), la gestion des stocks (flux tendus) et la protection des produits.

- caractéristiques d'expédition

taille d'envoi
densité de la valeur du produit

conditionnement du produit
fréquence de transport
regroupement des envois
distance de transport
destination des envois

Les facteurs de court terme concernent ensuite les services de transport fournis par les transporteurs et le système de transport. Comme mentionné plus haut, le coût de transport, comme variable quantitative, n'est plus le critère le plus important, dans le cadre des nouveaux systèmes logistiques, le choix modal du chargeur dépend également des évaluations monétaires des autres variables qualitatives comme la valeur du temps, la valeur de la fiabilité, etc..

- qualité de service de transport

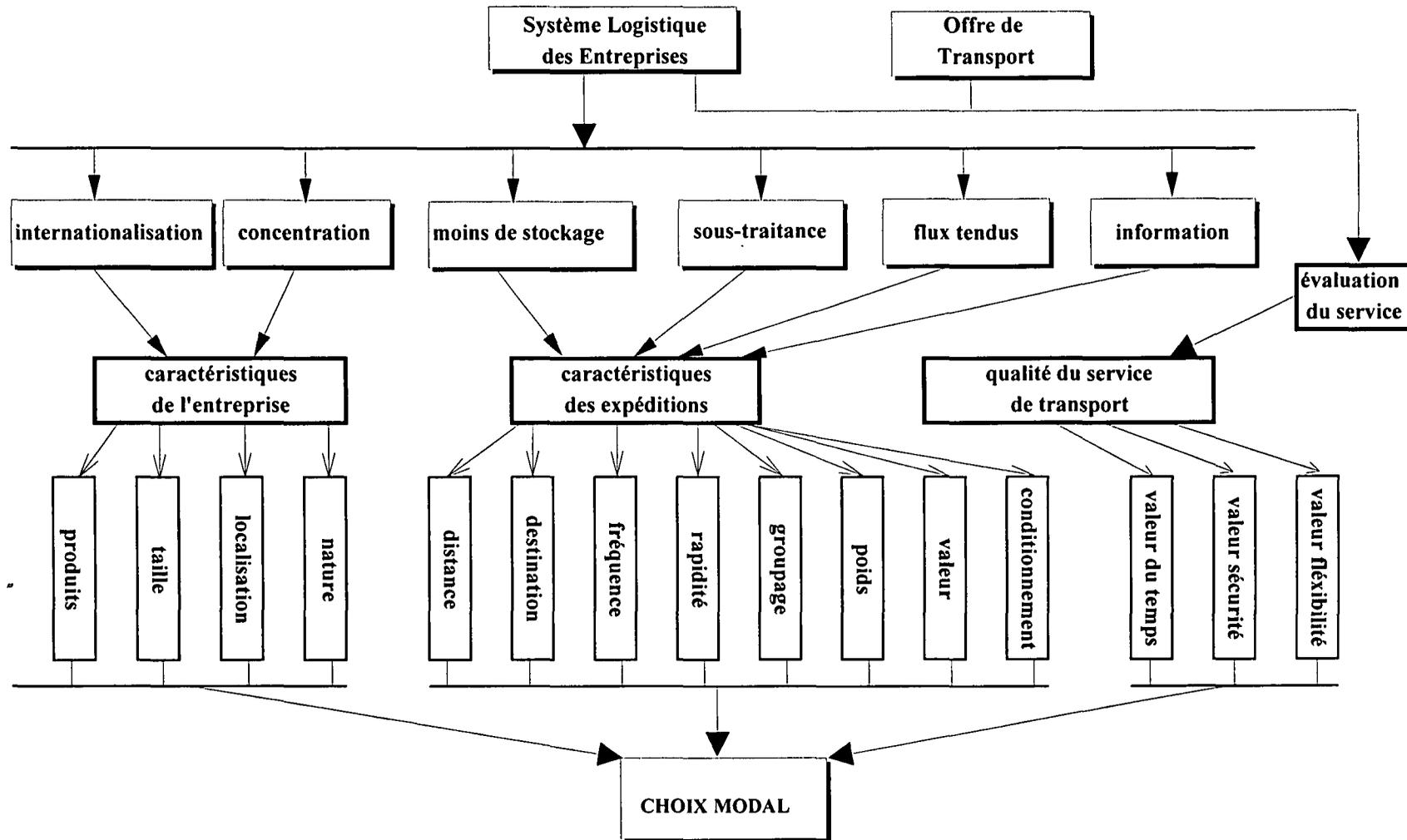
temps de transport
coût de transport
fiabilité du transport
flexibilité du transport
sécurité du transport

Le graphique 4.1 résume les relations attendues entre développements du système logistique et demande de transport.

Conclusion

Les changements du système logistique des entreprises, qui concernent les caractéristiques des entreprises comme leur localisation, leur taille, les caractéristiques de leurs expéditions comme la distance, la taille et la fréquence des envois etc., ont eu un impact important sur la demande de transport en particulier sur les notions de fiabilité, de prix et de temps de transport etc.. Ces changements vont influencer donc le comportement de choix modal des chargeurs. En vue d'analyser ces influences, un outil efficace est la modélisation de ces comportements. Ainsi, le chapitre suivant concerne la construction de la base de données pour la modélisation .

GRAPHIQUE. 4.1. LES FACTEURS LOGISTIQUES INFLUENÇANT LE CHOIX MODAL



CHAPITRE 5

CONSTRUCTION DE LA BASE DE DONNEES

Pour modéliser le comportement de choix modal, il s'avère essentiel de disposer d'une bonne base de données. En France, une enquête auprès des chargeurs a été réalisée par l'INRETS en 1988, pour étudier le transport de marchandises au niveau national. Cependant, cette enquête n'a pas été seulement dévolue à l'analyse du choix modal, certaines données concernant les temps et prix de transport ne sont pas renseignées. Ce chapitre se consacrera à l'analyse de cette enquête et à la construction d'une base de données désagrégées pour le choix modal marchandises.

5.1. Enquête Auprès des Chargeurs

En 1988, l'INRETS a réalisé une enquête intitulée *enquête auprès des chargeurs* pour évaluer de manière quantitative les caractéristiques et les comportements des chargeurs en transport de marchandises (Bredeloup, E et G. Costa 1988, 1989a, 1989b). En France, jusqu'à maintenant, c'est la seule base de données désagrégées disponible au niveau national. Cette enquête auprès des chargeurs a été effectuée sous la forme d'entretiens auprès de responsables d'établissements industriels et commerciaux, par des enquêteurs professionnels. Elle a été conçue en deux temps : la pré-enquête et l'enquête principale.

La *pré-enquête* visait la mise au point d'une méthodologie appropriée permettant la quantification de la demande de transport et s'est déroulée en deux phases. La première phase de l'enquête réalisée de mars à août 1985, avait pour objectif principal de tester la faisabilité de la procédure et d'améliorer la méthode retenue auprès de 55 établissements chargeurs (135 envois) répartis dans trois filières : agro-alimentaire, commerce de gros, industries chimiques et parachimiques, matériel électrique, électronique de précision, mécanique. La deuxième phase de l'enquête s'est déroulée au printemps et à l'été 1986 et a porté sur 168 établissements et 503 envois, concentrés dans trois branches industrielles, les mêmes que pour la première phase de la pré-enquête. La deuxième phase devait permettre de se rapprocher des conditions de réalisation de l'enquête en vraie grandeur. Mais à la différence de l'enquête principale, tous les secteurs d'activité n'étaient pas représentés. Les trois filières choisies au cours de la première phase étaient conservées et seuls les trois derniers envois ont été " suivis ".

Après deux phases de pré-enquête, *l'enquête principale* s'est déroulée au premier semestre 1988, selon un plan de sondage assurant une représentativité au niveau national. Stratifiée par branche d'activité, taille, etc., l'enquête principale a été réalisée auprès de 1742 établissements industriels et commerciaux et comprend 5110 envois, répartis dans les 21 régions françaises et représentatifs des 20 branches d'activités de l'économie française. Pour chacun de ces établissements, 3 envois ont été "suivis" par interview téléphonique de tous les intervenants ayant participé au transport ou à son organisation.

5.2. Construction de l'Enquête

Le questionnaire de l'enquête est constitué de quatre parties. La première partie relève les caractéristiques de l'établissement chargeur qui peut être expéditeur ou destinataire. La deuxième partie enquête les caractéristiques physiques des envois concernant des informations en nature, taille, coût, conditionnement etc.. La troisième partie concerne les caractéristiques des intervenants dans le transport qui ont participé à l'organisation ou à l'exécution du trajet pour un même envoi. La dernière partie est destinée aux renseignements concernant le trajet d'expédition.

5.2.1. Questionnaire Etablissement

Pour le questionnaire sur les caractéristiques des établissements, un premier exercice a consisté à bien distinguer les notions d'établissement et d'entreprise. Selon la définition de l'INSEE, *l'entreprise* est un organisme doté de l'autonomie juridique et comptable, constitué pour la production de biens ou de services sous une direction, une appellation et une responsabilité unique. *L'établissement* se définit quant à lui comme tout lieu topographiquement distinct (usine, magasin, atelier et dépôt). Une entreprise peut être constituée de plusieurs établissements.

Dans l'enquête principale, les établissements ont été choisis sondages aléatoire dans les fichiers de l'INSEE, après avoir fixé les codes APE d'activité, les tailles d'établissement et les zones géographiques. Les caractéristiques générales des établissements enquêtés sont reprises dans le fichier SIRENE de l'INSEE puis vérifiées lors de la prise de contact téléphonique.

5.2.2. Questionnaire Envoi

Dans la deuxième partie de l'enquête, un *envoi* se définit comme une quantité de marchandises émise effectivement, au même moment, à la disposition d'un transporteur ou d'un commissionnaire de transport dont le transport est demandé par un même expéditeur, pour un même destinataire, d'un lieu de chargement unique à un lieu de déchargement unique, et faisant l'objet d'une seule déclaration d'expédition et d'un même contrat de transport, quelque soit la quantité expédiée. Par exemple, plusieurs camions ou wagons, partis en même temps ou à intervalles très rapprochés représentent un seul envoi. Cette mise à disposition doit permettre au transporteur l'enlèvement immédiat de l'envoi dans sa totalité. Ajoutons à cette définition que dans les mêmes conditions une quantité de marchandise transportée en compte propre par l'expéditeur ou le destinataire est aussi considérée comme un envoi.

Les trois derniers envois en date expédiés par l'établissement enquêté font chacun l'objet d'un questionnaire envoi. Bien que l'échantillon des envois ne puisse avoir une valeur significative au niveau de l'établissement individuel (seulement 3), globalement le nombre total d'envois et l'ensemble des trajets que cela représente est important. En ce qui concerne la représentativité, la présence d'un taux de sondage plus élevé pour les gros établissements renforce bien évidemment le poids relatif de leur envois au sein de la population totale des envois et les questionnaires nous permettent de situer l'envoi dans le volume total de transport et d'en apprécier la fréquence avec le destinataire.

5.2.3. Questionnaire Intervenant et Trajet

Le questionnaire intervenant nous permet d'obtenir une connaissance sur les caractéristiques des acteurs de transport et sur leurs capacités de raccordement. Un *intervenant* peut être : décideur du transport, organisateur du transport, sous-traitant ou destinataire.

D'autre part, le questionnaire *trajet* se définit comme le déplacement physique de la marchandise d'un lieu à un autre, au moyen d'un seul et même véhicule, sans manutention intermédiaire. Dans le cas où l'envoi subit une ou plusieurs fois des manutentions en des points nodaux, on estime qu'il y a plusieurs trajets, on parlera alors de trajet multiple. Dans les trajets multiples utilisant plusieurs modes on considère le transport combiné. Les trajets multiples utilisant le même mode caractérisent le transport unique.

5.2.4. Modes de Transports Concernés

L'enquête concerne plusieurs modes de transport : ferroviaire, routier, fluvial, aérien, maritime, pipeline et transport combiné. Cependant, dans la limite du nombre d'observations, cette enquête considère seulement le transport routier privé et le transport public qui inclue trois modes de transport : fer, route et transport combiné. Le transport ferroviaire a trait à deux moyens de transport : l'un est le chemin de fer embranché correspondant à des transports ayant pour point de départ ou d'arrivée un trajet ferroviaire embranché, il s'agit pour l'essentiel de trafics d'embranché à embranché, l'autre traite des trajets routiers plus fer successions de trajets routiers et ferroviaires avec passage en gare. En ce qui concerne le transport combiné rail-route, on le repère par le passage dans un chantier CNC ou Novatrans.

5.3. Structure des Observations

La base de données fournie par l'enquête pour cette recherche comprend 3.473 observations parmi lesquelles il existe 1.421 observations pour le transport privé et 2.052 pour le transport public. Au sein du transport public, il y a 1.866 observations pour le transport routier, 123 observations pour le transport ferroviaire et 63 observations pour le transport combiné. En ce qui concerne les caractéristiques des envois, on peut faire les remarques suivantes :

1. le poids moyen des envois toutes catégories d'activités confondues est de 5.837 kg, alors que celui du transport combiné est plus petit (1.643 kg). Quant au transport ferroviaire, le poids moyen est le plus grand (31.937 kg) bien qu'il y ait 60% des envois qui sont des petits lots de moins de 500 kg.
2. pour le transport public, plus de 80% des envois ont une distance de transport supérieure à 100 km (387 km en moyenne). A contrario, seulement 30% des envois en transport privé ont une distance de transport de plus de 100 km (en moyenne 124 km).
3. en ce qui concerne la densité de la valeur des marchandises, l'on peut dire que les produits transportés en combiné sont principalement de faible densité.

La structure des observations est décrite dans le tableau 5.1 :

TABLEAU 5.1. STRUCTURE DE LA BASE DE DONNEES

		TOTAL	PRIVE	FER	COMBINE	ROUTE
Nombre d'observations		3 473	1 421	123	63	1 866
DISTANCE	valeur moyenne	279	124	485	664	371
	> 100 km	59%	29%	96,70%	95,20%	78,90%
VALEUR D'ENVOI	valeur moyenne	93447	79 325	393 046	63 689	250 152
	< 20 000 ff	57,76%	41,80%	58,80%	60,70%	53,50%
VALEUR DE LA DENSITE (FF/KG)	valeur moyenne	252	272	304	195	238
	< 100 ff	71,03%	84,80%	44,10%	44,60%	67,10%
	> 400 ff	8,76%	4,70%	22,60%	10,70%	10,10%
TAILLE D'ENVOI	valeur moyenne	5 837	4 758	31 973	1 643	5 101
	< 500 kg	43,98%	34,05%	60,30%	65,10%	49,60%
	> 10 tonnes	17,15%	15,16%	28,40%	4,80%	18,30%

Source: INRETS Enquête Au près des Chargeurs 1988

En ce qui concerne la répartition des observations selon le chapitre NST, bien que les envois enquêtés concernent tous les chapitres NST, les produits les plus enquêtés sont les produits alimentaires, les produits chimiques et produits manufacturés :

TABLEAU 5.2. NOMBRE D'OBSERVATIONS SELON LES TYPES DE PRODUITS

NST	Total	Privé	Route	Fer	Combiné
0 produits agricoles et animaux	119	86	28	5	0
10 denrées alimentaires et fourrages	482	289	181	9	3
51 produits métallurgiques ferreux	97	25	58	12	2
61 minéraux bruts et mat. de construction	97	44	49	3	1
83 autres produits chimiques de base	248	84	152	3	9
91 matériel de transport et matériel agricole	233	85	134	8	6
92 machines et articles métalliques	897	294	546	46	11
94 autres articles manufacturés	915	316	551	22	26

Source: INRETS Enquête Au près des Chargeurs 1988

5.4. Les Variables Explicatives Disponibles dans l'Enquête

5.4.1. Caractéristiques des Entreprises

Dans cette enquête, les caractéristiques des entreprises concernent tout d'abord la nature de l'entreprise enquêtée, on distingue l'usine, du magasin de vente et de l'entrepôt, vient ensuite la structure des entreprises, française, européenne et mondiale, enfin la localisation qui représente l'accessibilité au mode de transport. Toutes ces caractéristiques sont exprimées par des variables dites 'dummy' :

<i>usine</i> :	l'établissement chargeur ou le destinataire est une usine
<i>magasin</i> :	l'établissement chargeur ou le destinataire est un magasin de vente indépendant ou un magasin appartenant à une usine
<i>entrepôt</i> :	l'établissement chargeur ou destinataire est un entrepôt indépendant ou un entrepôt appartenant à une usine.
<i>établissement régional</i> :	établissement unique ou appartenant à une entreprise implantée dans une région française seulement
<i>établissement mondial</i> :	établissement appartenant à une entreprise implantée en Europe et en plusieurs continents
<i>accès ferroviaire</i> :	accès direct à un embranchement ferroviaire pour le chargeur ou le destinataire
<i>accès autoroutier</i> :	accès direct à une autoroute pour le chargeur ou le destinataire

Une autre caractéristique des entreprises est la taille de l'entreprise qui est étroitement liée à l'activité de transport. La taille d'établissement est représentée par son nombre de salariés et est fixé à 10 salariés au moins dans l'enquête. Cela nous conduit tout naturellement à retenir pour chacun des groupes d'activité un taux de sondage proportionnel à la taille d'établissement. Mais les établissements de plus de 1000 salariés sont enquêtés de façon exhaustive.

taille d'entreprise : nombre de salariés

Avec le développement des techniques de l'information, le système d'information des entreprises influence fortement le système logistique et joue un rôle de plus en plus important dans le transport. On peut distinguer trois «âges» du développement de l'informatique dans les transports. Le premier est celui de l'informatique interne : l'ordinateur se trouve en un lieu précis de l'établissement. Le deuxième est celui de l'informatique qui établit des connexions permanentes entre ordinateurs situés en des lieux différents, et des échanges massifs et réguliers d'informations sont organisés entre eux. La troisième phase comme l'EDI, celle de l'interconnexion généralisée des ordinateurs, au sein d'un même ensemble (même profession ou même pays ou ensemble de pays). A cet effet on a donc créé une variable approchée :

système d'information : l'établissement destinataire est raccordé à un équipement informatique permettant de communiquer avec les partenaires pour des opérations de transport

Si des chargeurs possèdent leur propre camion, ils peuvent choisir le transport privé. Donc l'équipement de transport propre est un facteur clé pour le choix entre le transport privé et le transport public. D'autre part, si des chargeurs possèdent leurs propres wagons, ils choisiront de préférence le mode ferroviaire. On a donc les variables *dummy* suivantes :

camion 3 t : le chargeur possède des camions en propre de moins de 3 tonnes
camion 3-6.6 t : le chargeur possède des camions en propre entre 3 tonnes et 6.6 tonnes
camion 6.6-17 t : le chargeur possède des camions en propre entre 6.6 tonnes et 17 tonnes
camion - traction : le chargeur possède des camions tracteur en propre
wagon propre : le chargeur possède des wagons en propre

5.4.2. Caractéristiques des Expéditions

Les caractéristiques d'expédition se composent des attributs d'envois comme le poids, la valeur et la fréquence, le conditionnement, des caractéristiques des flux physiques comme fréquence, distance, origine et destination des envois.

poids des envois : tous les envois supérieurs à 1 kg, à la seule exclusion des colis postaux
valeur d'envoi : l'unité de valeur peut être modifiée à la demande puisque le résultat brut de l'enquête est donné en valeur de l'envoi. Par exemple, la densité de valeur est calculée en divisant cette valeur par le poids de l'envoi
fréquence : nombre d'envois par an pour les destinataires de chacun des envois

Le conditionnement des marchandises au départ de l'établissement a été enquêté dans l'enquête. Pour l'ensemble des envois, deux types de conditionnement se retrouvent en majorité : les colis et les palettes. Les autres types de conditionnement sont les envois par citernes et en conteneurs ou caisses mobiles. De plus, selon les caractéristiques, les chargeurs peuvent regrouper les envois dans le transport, il s'agit là de la situation de départ relative au

seul chargeur. Enfin on a créé les variables *dummy* suivantes pour représenter le conditionnement et groupage :

<i>colis</i>	<i>palettes</i>
<i>citernes</i>	<i>conteneur ou caisses mobiles</i>
<i>vrac sec</i>	<i>conteneur - citernes</i>
<i>envoi est isolé</i>	<i>envoi qui fait partie d'un lot</i>
<i>envoi fait partie d'une tournée</i>	-

En ce qui concerne les variables de flux physiques, un des critères classiques les plus utilisés pour comprendre le choix modal est la distance de transport. Dans cette enquête, elle a été calculée à partir du fichier SITRA-M 1988 comme le rapport des tonnes-kilomètres aux tonnes. D'autre part, le lieu de livraison et de départ dans cette enquête concerne toutes les régions de France, il existe cependant un certain nombre d'envois destinés à des pays étrangers (178 observations), à majorité vers des pays européens : Italie, Espagne, Belgique, Suisse, Allemagne, et Pays-Bas. On a donc créé trois variables pour refléter les effets des facteurs géographiques sur le choix modal :

distance de transport : donne la distance de département à département,
envoi destiné à l'étranger
envoi destiné à Paris
envoi départ de Paris

5.4.3. Qualité de Service de Transport

Dans cette enquête, seules deux variables concernant les services de transport sont enquêtées : le prix de transport et le temps de transport.

Prix de transport : Le prix de transport n'est renseigné que pour les envois effectués en transport public en demandant aux chargeurs le prix réel payé pour le transport de chacun des trois envois enquêtés, il s'agit du prix total y compris les prestations annexes.

Temps de transport : Le temps de transport est renseigné en jours de transport car les pré-enquêtes avaient démontré qu'il était difficile de recueillir des informations relativement précises en heures. De plus, on a enquêté

la plage horaire de départ ou d'arrivée de l'envoi. Trois plages horaires ont ainsi été retenues : le matin, l'après-midi et la nuit.

5.4.4. Résumé des Variables Explicatives

En conclusion, dans le tableau suivant, on peut résumer tous les facteurs logistiques qu'on a enquêté et qu'on utilisera par la suite :

TABLEAU 5.3. FACTEURS LOGISTIQUES AU SEIN DE LA BASE DE DONNEES

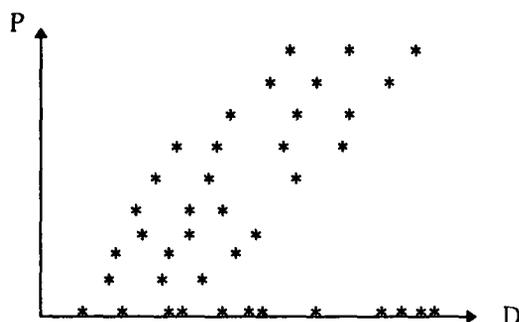
Caractéristiques des entreprises	Caractéristiques d'envoi	Service de transport
Taille de l'entreprise <i>nombre de salariés</i>	Nature de l'envoi	Temps de transport
Nature d'entreprise <i>entrepôt</i> <i>magasins</i> <i>usine</i>	Taille d'envoi (tonnes)	Prix de transport
Localisation et équipement <i>embranchement ferroviaire</i> <i>accès direct à l'autoroute</i>	Valeur d'envoi (francs)	
Réseau informatique	Distance	
Équipement propre des chargeurs <i>camion < 3 tonnes</i> <i>3 t. < camion < 6 t.</i> <i>6.6 t < camion < 17 t.</i> <i>camion tracteur</i> <i>wagon</i>	Fréquence	
	Conditionnement <i>conteneur</i> <i>citernes</i> <i>colis</i> <i>conteneur - citernes</i> <i>palette</i> <i>vrac</i> <i>envoi partie d'une tournée</i> <i>envoi partie d'un lot</i>	
	Géographie <i>envoi à l'étranger</i> <i>envoi à Paris</i> <i>envoi départ de Paris</i>	

5.5. Méthode d'Estimation des Prix et des Temps

Comme précédemment dit, le temps et le prix de transport sont des variables 'alternative-spécific', et les effets des prix et des temps doivent être modélisés par un modèle conditionnel, cela veut dire que pour chaque O-D, l'on doit disposer à la fois de données de temps et de prix de tous les modes de transport, ceci quel que soit le mode choisi. Malheureusement, dans l'enquête auprès des chargeurs, ne sont disponibles que des données d'un seul mode, celui choisi pour chaque O-D. Il faut donc estimer le temps et le prix ferroviaire correspondants à l'alternative non choisie quand on a choisi la route, et réciproquement le temps et le prix routier quand on a choisi le mode fer.

5.5.1. Observations Censurées de Prix et de Temps

Le concept d'observation censurée a été initialement introduit pour décrire la consommation de certains biens durables par les ménages en fonction de leurs revenus. Cette consommation présente la particularité suivante : la somme consacrée pendant une certaine période de temps à l'achat d'un bien durable donné peut prendre toute valeur positive, mais est nulle pour beaucoup de ménages qui n'ont pas effectué l'achat de ce bien durable donné. Par là, on voit que c'est aussi le cas du prix et du temps de transport. Par exemple, pour les chargeurs qui ont choisi le fer, le prix ferroviaire prend évidemment une valeur positive et dépend, par exemple de la distance de transport, mais est nulle pour ceux qui n'ont pas choisi le fer. On peut représenter cette relation dans un système d'axes comportant en abscisses la distance D , en ordonnées le prix ferroviaire P :



Pour estimer le prix ferroviaire P , si l'on emploie un modèle de régression simple et classique, comme $P = c + a \cdot D + \varepsilon$, pour décrire la liaison entre le prix ferroviaire et la distance de transport, il apparaît alors inadéquat pour au moins deux raisons :

1. le nuage de points sera mal décrit par une relation du type $P = a \cdot D + b$, puisqu'il contient deux parties nettement différentes;
2. l'hypothèse de loi continue habituellement faite sur les perturbations n'est pas adaptée, la valeur $P=0$ étant observée avec une probabilité nettement différente de 0 (le sous-échantillon des chargeurs qui ont choisi le fer n'est pas aléatoire).

5.5.2. Modèle Tobit : Méthode d'Heckman

Ainsi, pour faire l'estimation à partir d'observations censurées, le modèle Tobit a été introduit et une procédure en deux étapes est proposée par Heckman (Courieroux 1989), elle consiste à utiliser successivement des modèles sur données qualitatives et quantitatives.

première étape

On commence par estimer un modèle probit dichotomique où pour l'estimation des prix ferroviaires, la variable dépendante Y prend la valeur 1 si le chargeur a choisi le fer, la valeur 0 sinon. L'équation probit dichotomique s'écrit :

$$P(Y = 1) = \Phi(B'Z) \quad (5.01)$$

où $\Phi(\cdot)$ est la fonction de répartition de la loi normale, Z et B désignent, respectivement, la matrice des variables exogènes et le vecteur des paramètres correspondants, à estimer.

A partir des paramètres estimés de ce modèle, on calcule, pour chaque observation dans le sous-échantillon où Y=1, l'inverse du ratio de Mills :

$$\hat{\lambda} = \frac{\varphi(\hat{B}'Z)}{\Phi(\hat{B}'Z)} \quad (5.02)$$

où $\varphi(\cdot)$ est la densité de la loi normale.

Deuxième étape

On procède alors à l'estimation de l'équation principale sur le sous-échantillon des chargeurs pour lesquels Y=1 : chargeurs choisissant le fer.

$$P = C' * X + \theta * \lambda + \varepsilon \quad (5.03)$$

Dans cette régression linéaire, que l'on estime par les moindres carrés ordinaires, P est la variable dépendante (prix ferroviaire), X et C représentent respectivement la matrice des variables explicatives qui expliquent P et le vecteur des paramètres correspondants à estimer, λ est introduit comme variable explicative, ce qui permet de contrôler l'éventuel effet de sélection et obtenir des estimateurs sans biais. ε désigne l'erreur aléatoire, distribuée selon une loi normale, de moyenne nulle et d'écart-type σ .

5.6. Estimation du Prix de Transport

Pour estimer le prix de transport ferroviaire et routier (prix par kilogramme et par kilomètre), il faut tout d'abord calculer le ratio de Mills, le modèle probit suivant est alors utilisé :

$$P(Y=1) = \Phi(C(1) + C(2)*D + C(3)*W) \quad (5.04)$$

où Y=1 signifie que le mode choisi est la route, deux variables explicatives sont choisies : D désigne la distance de transport et W désigne le poids des marchandises.

le ratio de Mills pour l'estimation du prix routier est défini par :

$$\lambda_r = \frac{\varphi(C(1) + c(2) * D + c(3) * W)}{\Phi(C(1) + c(2) * D + c(3) * W)} \quad (5.05)$$

le ratio de Mills pour l'estimation du prix ferroviaire est donné par :

$$\lambda_f = \frac{\varphi(C(1) + c(2) * D + c(3) * W)}{1 - \Phi(C(1) + c(2) * D + c(3) * W)} \quad (5.06)$$

Ensuite on estime le prix ferroviaire et routier. Dans la base de données, en supprimant les observations qui manquent pour les données de prix et les variables explicatives, il reste 137 'observations utiles' pour le transport ferroviaire parmi 186 observations, et 1.465 observations utiles pour le transport routier parmi 1.866 observations.

Les résultats des estimations sont présentés par les deux équations suivantes où P_f et P_r sont des prix ferroviaires et routiers par kilogramme et par kilomètre, et D et M désignent respectivement la distance de transport (km) et le poids de la marchandises (kg).

$\text{Log}(P_i) = 3.888 - 0.985 * \text{Log}(D) - 0.493 * \text{Log}(W) - 0.337 * \lambda_i$	(5.07)
$(4,6) \quad (-11,7) \quad (-33,7) \quad (-1,7)$	

$R^2=0,92$

$\text{Log(Pr)} = 1.73 - 0.750 \cdot \text{Log(D)} - 0.537 \cdot \text{Log(W)} + 1.505 \cdot \lambda_r$	(5.08)
$(18,8) \quad (-36,9) \quad (-97,1) \quad (5,52)$	

R²=0,90

5.7. Estimation du Temps de Transport

5.7.1. Transformation du Temps en Jours en Temps en Heures

Dans ce type d'enquête, il est difficile de demander l'information sur le temps de transport en unités d'heures au chargeur, le temps de transport est en conséquence exprimé en jours de transport, c'est une information un peu vague quant il s'agit d'analyser les effets du temps sur le choix modal surtout dans les cas de trajets de courte durée. Ainsi, il nous faut estimer la durée de transport en unités d'heures, ceci s'avère très important pour le calcul de la valeur du temps. En supposant que le matin s'étend de 6h à 12h, l'après-midi de 12h à 18h, le soir de 18h à 24h et la nuit de 0h à 6h, on obtient la plage du moment de départ et du moment d'arrivée, matin, après midi et soir. Une solution est donc d'estimer le temps de transport en heures sur la base de ces plages de temps.

Puisque l'on ne connaît que les plages du moment départ (TD) et du moment d'arrivée (TA), le moment exact en termes d'heures de départ et d'arrivée est inaccessible. Cependant, en introduisant une variable aléatoire binaire X entre 0 et 1 représentant le moment de départ et d'arrivée, on peut trouver une relation entre le temps de transport en jours et en heures. De plus, pour exprimer cette relation sous forme mathématique, on désignera par 1, 2 et 3 respectivement les plages du matin, de l'après-midi et du soir.

Si le moment de départ et d'arrivée se situe à l'intérieur d'une même journée, il existe trois possibilités concernant la durée de transport en unités d'heures :

(1) le moment de départ et le moment d'arrivée se situent le même matin (ou la même après-midi ou le même soir). Pour éviter que le temps de transport soit nul, on supposera que le temps de transport minimum est d'une heure. La durée en unités d'heures se situe donc entre 1 et 6 heures. En utilisant des nombres aléatoires, compris entre 0 et 1, le temps de transport (T) peut alors s'écrire sous la forme :

$$T=5*X+1 \quad (5.09)$$

(2) le moment de départ est le matin, mais le moment d'arrivée est dans la soirée, dans ce cas, la durée de transport se situe entre 6 h et 18 heures.

$$T=12*X+6 \quad (5.10)$$

(3) le moment de départ se situe dans le matinée ou l'après-midi, mais le moment d'arrivée est lui dans l'après-midi et le soir, sachant que le temps de transport minimum est d'une heure, la durée possible est entre 1 et 12 heures.

$$T=11*X+1 \quad (5.11)$$

Si le moment de départ et d'arrivée ne se situent pas dans la même journée mais sur deux jours ou plus, la durée de transport en heures peut être exprimée de la manière suivante :

(1) le moment de départ et d'arrivée n'est pas dans la même journée mais dans la même plage (tout est en matin ou en après-midi ou le soir). Par exemple, si tout est dans le matin, le moment de départ le plus tard est à 12 heures, et le moment d'arrivée le plus tôt est à 6 heures le lendemain, la durée de transport minimale est donc de 18 heures (celle maximale de 30 heures),

$$T=24*jours+(0.5-X)*12 \quad (5.12)$$

(2) le moment de départ et d'arrivée n'est pas dans la même journée ni dans la même plage. Par exemple, si le moment départ est dans le matin et le moment d'arrivée est le lendemain soir, dans ce cas, le moment de départ le plus tôt est à 6 heures, et le moment d'arrivée le plus tard est à 24 heures le lendemain, soit une durée maximale de 42 heures. D'autre part, le moment de départ le plus tard est à 12 heures, et le moment d'arrivée le plus tôt est à 18 heures le lendemain, la durée minimale est donc de 30 heures, ainsi la variation de la durée de transport est entre $42-30=12$ heures. La durée possible en heures peut être calculée par la formule $T=24*1 + (6+12*X)$ où X est un nombre aléatoire, compris entre 0 et 1.

Le graphique suivant expose le schéma des relations entre durée de transport en unités d'heures et en jours selon les cas. Sur ce graphique, quelques variables sont définies en moyennes :

TA et AD : moment d'arrivée et moment de départ, qui peuvent être le matin, l'après-midi ou le soir

MA, AP et SR : représentent respectivement le matin, l'après-midi et le soir, de valeurs numériques : MA=1, AP=2 et SR=3. Ainsi si le moment de départ est le matin cela signifie que TD vaut 1, etc..

J : différence entre le jour de départ et le jour d'arrivée

Dmax et Dmin : durée maximale durée minimale en unités d'heures pour le transport concerné.

**GRAPHIQUE 5.1. SCHEMA DES RELATIONS
ENTRE LA DUREE DE TRANSPORT EN HEURES ET EN JOURS**

TD	TA	TA-AD	J	Dmax	Dmin	Variation	Durée possible
jour0	jour1		jour1-jour0			Dmax-Dmin	en unité d'heures
SR (18-24)	MA (6-12)	-2	1	18	6	12	$T=24*J-(6+12*X)$
	AP (12-18)	1	1	36	24	12	$T=24*J+(0+12*X)$
MA (6-12)	SR (18-24)	2	1	42	30	12	$T=24*J+(6+12*X)$
AP (12-18)	MA (6-12)	-1	1	24	12	12	$T=24*J-(0+12*X)$

Sur ce graphique, concernant la formule mathématique de la durée possible en unités d'heures, si $TA-TD > 0$, le signe avant parenthèses est négatif, et si la valeur absolue de $TA-TD$ vaut 2, la formule dans la parenthèse s'écrit sous la forme $6+12*X$, ou $0+12*X$. On peut donc exprimer cette relation par la formule suivante :

$$T = 24 * \text{jours} + [(TA-TD)/TA-TD] * (6*TA-TD-6 + 12*X) \quad (5.13)$$

où $(TA-TD)/TA-TD$ détermine le signe avant parenthèses selon la différence $TA-TD$, $6*TA-TD-6$ vaut 6 ou 0 selon la valeur absolue de $TA-TD$.

5.7.2. Résultats de l'Estimation du Temps

L'estimation du temps de transport marche beaucoup moins bien que celle du prix de transport, le test du R^2 est toujours très mauvais. Trois raisons peuvent expliquer ce résultat. Premièrement, il existe d'autres variables qui peuvent expliquer le temps de transport mais qu'on n'a pas enquêtées. Deuxièmement, dans la base de données il existe nombre

d'observations qui sont " suspectes " pour ce qui est du temps de transport. Par exemple, pour une distance de 400 km, on trouve une durée de transport égale à 29 jours !!! Enfin, les temps de transport estimés ne correspondent pas exactement aux temps réels.

Si l'on reste sur les éléments disponibles dans la base de données, il n'existe pas de solution aux premier et troisième problèmes. En ce qui concerne le deuxième problème, il s'agit de trouver un critère pour supprimer les observations aberrantes. Pour ce faire, un critère raisonnable est la *Vitesse Commerciale de Transport (VCT)* des chargeurs. On considère la vitesse commerciale de transport comme le ratio de la *distance* sur le *temps de transport*, si VCT dépasse un seuil raisonnable ou normal (trop petit ou trop grand), on éliminera les observations correspondantes.

Comme dans le cas de l'estimation du prix de transport, il faut aussi calculer le ratio de Mills pour estimer le temps de transport. Le modèle probit suivant est utilisé pour l'estimation du temps routier ($Y=1$ signifie que le mode choisi est la route) :

$$P(Y=1) = \Phi(C(1) + C(2)*D + C(3)*W) \quad (5.14)$$

Ainsi le ratio de Mills pour l'estimation du temps routier est donné par :

$$\lambda_r = \frac{\varphi(C(1) + c(2) * D + c(3) * W)}{\Phi(C(1) + c(2) * D + c(3) * W)} \quad (5.15)$$

D'autre part, pour estimer le temps ferroviaire, le modèle probit suivant est utilisé ($Y=1$ signifie que le mode choisi est la route) :

$$P(Y=1) = \Phi(C(1) + C(2)*D) \quad (5.16)$$

Dans l'équation ci-dessus, la variable W (poids de la marchandise) n'est plus utilisée car celle-ci n'influence pas le temps ferroviaire. Le ratio de Mills s'écrit alors :

$$\lambda_f = \frac{\varphi(C(1) + c(2) * D)}{1 - \Phi(C(1) + c(2) * D)} \quad (5.17)$$

Ensuite, pour avoir des résultats d'estimation satisfaisants, on choisit un sous-échantillon possédant une vitesse commerciale de transport entre 8 km/h et 30 km/h. Les équations satisfaisantes sont présentées ci-dessous où T_f et T_r sont des prix ferroviaires et

routiers par kilogramme et par kilomètre, et D et M désignent respectivement la distance de transport (km) et le poids de la marchandise (kg) :

$$\text{Log}(T_i) = -3.3848204 + 1.0132208 \cdot \text{Log}(D) + 0.36312805 \cdot \gamma_r \quad (5.18)$$

(-2,3) (8) (0,8)

R²=0,78

$$\text{Log}(T_r) = -2.177 + 0.928 \cdot \text{Log}(D) - 0.0189 \cdot \text{Log}(W) - 0.0662 \cdot \gamma_r \quad (5.19)$$

(-19,2 43,7) (-3,9) (-0,3)

R²=0,83

5.7.3. Base de Données pour l'Estimation des Valeurs du Temps

Sur la base des équations de prix et de temps obtenues, on peut estimer les séries de prix et de temps ferroviaires pour les observations où l'on a choisi la route, et celles routières où l'on a choisi le fer. En faisant l'hypothèse que la vitesse commerciale de transport se situe normalement entre 8 km/h et 100 km/h, une nouvelle base de données est créée pour analyser les valeurs du temps et les effets de temps et de prix sur le choix modal. Cette base de données possède 1.047 observations parmi lesquelles 969 observations routières, 44 observations ferroviaires et 34 observations pour le transport combiné.

**TABLEAU 5.4 STRUCTURE DE LA BASE DE DONNEES
POUR ANALYSER LES EFFETS DE L'OFFRE**

Caractéristiques d'envoi		Total	Route	Fer	Combiné
Nombre d'observations		1047	969	44	34
0 agricole		23	21	2	0
10 alimentaire		106	104	1	1
51 métallurgiques		39	28	1	0
61 minéraux		35	34	1	0
83 produits chimiques		96	85	2	9
91 matériels transport		74	70	3	1
92 machines		267	248	17	2
94 articles manufacturés		304	275	10	19
Distance (km)	moyenne	460	441	643	774
	max.	2234	2234	1951	1092
	min.	16	16	53	454
Valeur d'envoi (franc)	moyenne	111586	119003	18042	29672
	max.	3944810	3944810	144000	366000
	min.	150	200	1300	150
Valeur par kg	moyenne	195	189	327	209
	max.	15000	15000	1500	1441
	min.	0,09	0,09	5,1	8
Poids d'envoi (kg)	moyen	6825	6726	13236	1367
	max.	512000	215000	512000	12722
	min.	1	1	3	7

Conclusion

L'enquête auprès des chargeurs est une enquête concernant surtout les petits envois, 44% des envois ont moins de 500 kg, pour le transport public, la distance de transport est généralement supérieure à 100 km. C'est également une enquête très riche qui concerne une cinquantaine de variables, pour des secteurs importants influençant le partage modal et qui

donne une répartition très proche des résultats de trafics par produits disponibles dans des bases de données comme SITRA-M. Dans cette recherche, une trentaine de variables logistiques seront utilisées pour la modélisation du choix modal. Particulièrement, pour construire cette base de données qui servira à l'analyse des effets de l'offre de transport, le temps de transport en jours est transformé en temps de transport en heures, et un modèle Tobit est utilisé pour estimer le prix et le temps de transport de l'alternative. Après construction de cette base de données, le chapitre suivant analysera les méthodes d'estimation des modèles.