

***INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE***

Christophe RIZET (Inrets, Dest)
Fei JIANG (Nestear)

***MODELISATION DU CHOIX
MODAL AIR-MER A PARTIR
DE L'ENQUETE CHARGEUR***

Lettre de commande n° 00MT54
DRAST – Ministère des Transports
Prédit 1996-2000
Juin 2002

MODELISATION DU CHOIX MODAL AIR-MER A PARTIR DE L'ENQUETE CHARGEUR

Résumé

Lettre de commande n° 00MT54
DRAST – Ministère des Transports
Prédit 1996 – 2000

Le modèle développé vise à expliquer le choix entre transports maritimes et aériens pour les envois intercontinentaux. Il a été calibré à partir des données très riches de l'enquête auprès des chargeurs (Mystic) de 1999 ; ces données permettent en particulier d'estimer le poids de l'envoi pour une offre de transport alternative mais le nombre d'observations disponibles est très faible. La comparaison entre différentes formes de modèle montre que lorsqu'on simule le poids de l'envoi en même temps que le choix du mode de transport on améliore significativement la qualité du modèle.

MODELISATION DU CHOIX MODAL AIR-MER A PARTIR DE L'ENQUETE CHARGEUR

FICHE RESUME

Lettre de commande n° 00MT54
DRAST – Ministère des Transports
Prédit 1996 – 2000

Le chargeur qui choisit le mode d'acheminement de ses envois choisit en même temps le poids de ceux-ci : s'il doit envoyer dans l'année 120 tonnes d'un produit à un même client, il optimisera la taille de ses envois selon le mode retenu et enverra par exemple chaque mois un conteneur maritime de 10 tonnes ou chaque semaine une palette aérienne de 2.5 tonnes. Sa décision, que nous cherchons à modéliser, englobe simultanément le choix de la chaîne de transport et du poids de l'envoi.

Nous développons ici un modèle désagrégé de choix entre transports maritimes et aériens que nous limitons, dans cet exercice, aux envois intercontinentaux, pour lesquels le seul choix est entre l'aérien et le maritime. Ce modèle est calibré à partir des données très riches de l'enquête test auprès des chargeurs de 1999. Parmi les informations disponibles à partir de cette enquête, le volume annuel que le chargeur expédie à son client nous a permis d'estimer le poids de l'envoi pour l'offre de transport alternative. Les autres caractéristiques de la chaîne alternative qu'il a fallu estimer sont le prix et le temps de transport. Comme ces valeurs estimées pour les caractéristiques de l'offre alternative ont une grande influence sur la qualité du modèle, différentes variantes ont été testées.

La modèle s'efforce d'estimer la probabilité pour un envoi d'être transporté par voie maritime ou aérienne ; les premières variables explicatives que nous avons testées sur un modèle logit sont les prix et temps de transport, par mer et par air. Différentes formes de modèles et différentes valeurs estimées pour les caractéristiques de l'offre alternative sont essayées, afin d'apprécier la sensibilité des résultats. Les coefficients estimés pour les variables de prix et de temps indiquent une bonne cohérence du modèle et permettent d'estimer des valeurs du temps et élasticités. Les élasticités obtenues indiquent que la demande de transport aérien est beaucoup plus sensible aux variations de prix, qu'il s'agisse du prix aérien ou du prix maritime, que la demande de transport maritime. Nos valeurs du temps sont cohérentes avec celles qui ont été publiées.

Pour chaque variante étudiée un modèle 'à poids de l'envoi variable selon la chaîne de transport' est comparé à un modèle où le poids de l'envoi est identique pour les deux alternatives. Le principal résultat de cette recherche ressort de cette comparaison : l'estimation simultanée du poids de l'envoi et du mode de transport améliore significativement la qualité du modèle de choix modal : par rapport à un modèle désagrégé classique, dans lequel le poids de l'envoi est supposé identique quelle que soit l'alternative choisie, le modèle qui simule en même temps le choix du poids de l'envoi et le choix du mode de transport donne, pour toutes les variantes testées, une meilleure précision des coefficients estimés et augmente significativement la capacité du modèle à simuler correctement le choix modal.

MODELISATION DU CHOIX MODAL AIR-MER A PARTIR DE L'ENQUETE CHARGEUR

SYNTHESE DU RAPPORT

Lettre de commande n° 00MT54
DRAST – Ministère des Transports
Prédit 1996 – 2000

juin 2002

L'hypothèse centrale de cette recherche est que le chargeur choisit le poids de son expédition en même temps que le mode d'acheminement de celle-ci : s'il doit envoyer dans l'année 120 tonnes d'un produit à un même client il optimisera la taille de ses envois selon le mode retenu et enverra par exemple chaque mois un conteneur maritime de 10 tonnes ou chaque semaine une palette aérienne de 2.5 tonnes. La décision du chargeur que nous cherchons à modéliser ne porte pas seulement sur le choix d'un mode ou d'une chaîne de transport mais sur le choix d'une solution de transport qui englobe le choix du poids de l'envoi et de la chaîne de transport.

Pour tester cette hypothèse, nous développons ici un modèle désagrégé de choix entre transports maritimes et aériens ou, plus exactement, entre des chaînes de transport dont le maillon principal est soit maritime soit aérien. Pour simplifier le choix modal, nous limitons cette analyse aux envois intercontinentaux, pour lesquels le seul choix possible est entre l'aérien et le maritime. Ce modèle est calibré à partir de données désagrégées très 'riches' qui donnent en particulier des informations sur la relation entre le chargeur et son client, le destinataire de l'envoi et permettent d'estimer le poids de l'envoi pour une offre de transport alternative. Puis, pour apprécier l'intérêt de modéliser simultanément le choix du mode et de la taille des envois, nous comparons les paramètres de deux variantes du même modèle l'une 'à taille de l'envoi variable selon le mode retenu' et l'autre dans laquelle le poids de l'envoi est indépendant du mode.

Les données utilisées

Ce travail se base sur les données de l'enquête test auprès des chargeurs de 1999 (enquête européenne dite 'Mystic') et s'inscrit dans la perspective du renouvellement de cette enquête à l'échelle nationale. Ces enquêtes fournissent un grand nombre de renseignements sur les établissements chargeurs, leurs caractéristiques logistiques ainsi que leurs envois. Par chargeur, trois envois sont suivis tout au long de la chaîne de transport et les informations recueillies portent à la fois sur la relation entre le chargeur et son client, sur les modalités d'organisation et de sous-traitance et sur les aspects physiques de la chaîne de transport. Le

nombre d'observations intercontinentales disponibles est faible : 88 chaînes maritimes et 41 chaînes aériennes.

Pour simuler le choix modal, il faut connaître les conditions offertes par les différentes alternatives et, si l'on connaît les caractéristiques de la chaîne de transport choisie, il est nécessaire d'estimer les principales caractéristiques de la chaîne alternative : poids de l'envoi, prix et temps de transport. De nombreuses variantes ont été testées pour estimer ces caractéristiques de l'offre alternative. Il est souvent possible d'améliorer la qualité de l'estimation de ces variables de l'offre alternative en augmentant le nombre des variables explicatives. Mais, ce faisant, les observations pour lesquelles cette variable n'est pas renseignée deviennent inutilisables et la qualité finale du modèle n'est pas améliorée. Finalement, le poids de l'envoi est estimé sur la base du volume annuel envoyé par ce chargeur à son client. Le prix de transport est estimé en tenant compte du poids de l'envoi et du tonnage annuel que ce chargeur confie à ce mode de transport, qui indique le pouvoir de négociation de ce chargeur vis à vis de son transporteur. Le temps de transport par la voie maritime a été estimé en tenant compte des horaires des navires de lignes régulières pour le trajet maritime et de temps de pré et post-acheminement ainsi que d'un temps de passage portuaire. A défaut de pouvoir expliquer le temps de la chaîne aérienne avec les informations disponibles, nous l'avons fixé comme une fraction du temps maritime.

Comme les valeurs estimées pour les caractéristiques de l'offre alternative sont susceptibles d'avoir une grande influence sur la qualité du modèle, nous avons tester de nombreuses variantes. A titre d'illustration, deux méthodes d'estimation du prix unitaire de transport (en euros par kg) sont présentées et utilisées successivement pour calibrer le modèle. Pour une même alternatives, des variantes du prix de transport unitaire de l'offre alternative sont ainsi calculées, selon ces deux méthodes, avec le poids observé sur l'autre alternative d'une part et avec le poids estimé selon le volume annuel vers ce client d'autre part.

Modélisation du choix air – mer

Les variables explicatives dont nous disposons pour expliquer la part de marché de l'air et de la mer pour les envois intercontinentaux sont d'une part les caractéristiques de l'établissement et d'autre part les caractéristiques de l'envoi. Avant de passer à la modélisation de la probabilité pour un envoi d'être transporté par voie maritime ou aérienne, nous avons cherché à expliquer, à partir des caractéristiques de l'établissement, la part de ses tonnages que cet établissement fait transporter par voie maritime ou par voie aérienne. Les caractéristiques de l'établissement ne rendent que très partiellement compte de ces parts de marché de l'un ou l'autre mode.

La modélisation proprement dite tente d'estimer la probabilité pour un envoi d'être transporté par voie maritime ou aérienne ; les premières variables explicatives que nous avons testées sur un modèle logit sont les prix de transport (par kg transporté), et les temps de transport (de porte à porte en jours), respectivement par mer et par air. Pour chacune de ces variables, le signe du coefficient estimé indique si la probabilité d'avoir recours à la voie maritime varie dans le même sens (coefficient de signe positif) ou dans le sens opposé (négatif) que la variable explicative. D'autre part le logiciel utilisé calcule la précision et la fiabilité de ce coefficient, ainsi que différents critères qui permettent d'estimer la l'adaptation globale du modèle aux données, telle que la somme des carrés des résidus. Différentes variantes du modèle ont été testées, qui correspondent

soit à un poids de l'envoi identique ou variable pour la chaîne de transport observée dans l'enquête et pour la chaîne alternative ; la comparaison entre ces deux formes permet

d'observer dans quelle mesure l'estimation simultanée du poids de l'envoi et du mode de transport améliore la qualité du modèle ;

soit à des modalités différentes d'estimation du prix de transport pour la chaîne alternative, afin de tester la sensibilité des résultats à la méthode d'estimation des variables caractéristiques de la chaîne alternative.

Les résultats de ces différents tests sont récapitulés dans le tableau ci-dessous pour le modèle logit.

Comparaisons entre les modèles logit à poids constant et à poids variable

Variable	Prix1 (120 observations)				Prix2 (69 observations)			
	A Poids variable		B Poids constant		C Poids variable		D Poids constant	
	Coeff.	Prob.	Coeff.	Prob.	Coeff.	Prob.	Coeff.	Prob.
C	5.308	0.0001	-1.140	0.1847	5.996	0.0034	1.833	0.0339
PrixTrMer1	-7.781	0.0000	-0.0002	0.7121	-8.005	0.0006	-0.533	0.4392
TempsMer	-0.0374	0.2717	-0.0200	0.4712	-0.0398	0.3174	0.0019	0.9424
PrixTrAir1	0.5605	0.0002	0.0041	0.0003	0.2123	0.3143	-0.394	0.1125
TempsAir	0.0793	0.1653	0.0709	0.3101	0.0949	0.1458	-0.0004	0.9951
Sum squared resid	8.100076		14.88928		4.801313		10.81424	
Log likelihood	-25.38462		-47.5472		-15.63849		-33.64595	
McFadden R-squared	0.661176		0.365358		.0649206		0.245272	

Parmi les quatre variantes du modèle dont les résultats sont présentés ici on constate que les coefficients ont le signe attendu pour les variantes A, B et C mais les coefficients du temps ne sont que faiblement significatifs. On observe surtout que les modèles 'à poids de l'envoi constant' (B et D) sont nettement moins bons que les modèles correspondants 'à poids variables' (respectivement A et C), que ce soit pour la précision des coefficients (probabilité que ces coefficients soient différents de zéro) ou pour les paramètres d'appréciation du modèle dans son ensemble, tel que la somme des carrés des résidus.

Compte tenu du faible nombre d'observations et de la faible précision des coefficients estimés avec quatre variables seulement, les tentatives pour ajouter de nouvelles variables explicatives se traduisent par une réduction de la précision des coefficients de ces variables prix et temps.

Elasticités, valeurs du temps et comparaison avec les travaux publiés

Deux paramètres permettent de synthétiser l'influence des principales variables sur le choix modal et de comparer ainsi avec les résultats des travaux antérieurs : les élasticités et la valeur du temps.

Elasticités au prix de transport

Les élasticités au prix de transport estimées dans cet exercice, sont relativement faible pour la voie maritime, qu'il s'agisse de l'élasticité (simple) de la demande maritime aux prix maritime (entre -0.1 et -0.3) ou de l'élasticité (croisée) au prix du transport aérien (entre 0.1 et 0.3). En revanche les élasticités de la demande de transport aérien sont beaucoup plus élevées, aussi bien l'élasticité simple au prix du fret aérien (-2,8) que l'élasticité croisée au prix du transport maritime (3,3). Ces élasticités de la demande aérienne paraissent élevées au regard des élasticités connues : ceci s'explique mécaniquement par le fait que la majorité des envois passent par la voie maritime et un tiers seulement, dans notre échantillon, passe par l'aérien. Une augmentation du prix maritime entraîne une faible diminution de la demande

pour ce mode mais celle ci se reporte sur l'aérien et entraîne une augmentation, beaucoup plus importante relativement, de la demande pour ce mode.

Valeurs du temps

Si l'on se limite aux variantes du modèle 'à poids variables' qui sont calibrées sur au moins 100 observations, les valeurs du temps sont comprises entre 5 et 9 euros par tonne et par jour pour le fret maritime et entre 98 et 162 euros pour le fret aérien. Il n'existe pas d'évaluation comparable de valeurs du temps pour le fret maritime ou aérien, dans la littérature publiée. Pour les autres modes de transport, il existe en revanche de nombreuses estimations de la valeur du temps du fret. Celles qui ont été obtenues avec des méthodes proches de celles que nous avons utilisées ici sont tout à fait compatibles avec nos propres estimations.

Les valeurs du temps calculées à partir des données d'une autre enquête chargeurs, réalisée en région Nord-Pas-de-Calais la même année que l'enquête Mystic et avec une méthode très proche, donne des valeurs du temps cohérentes avec nos résultats : nos valeurs du temps pour le fret maritime (5 à 9 euros par tonnes) sont comparables aux valeurs trouvées pour le fret ferroviaire avec les données de l'enquête Nord-Pas de Calais (entre 0,1 euros par tonnes et par jour pour les trains complets et 15 e/t/j pour le fret ferroviaire en wagons). Nos valeurs du temps pour le fret aérien (entre 98 et 162 euros) sont supérieures à celles obtenues avec les données de l'enquête NPDC pour le fret routier (42 e/t/j en moyenne).

Conclusion

Le modèle développé ici ne peut prendre en compte qu'un faible nombre de variables explicatives en raison principalement du faible nombre de données disponibles, en particulier pour estimer les caractéristiques de l'offre alternative. Cette nécessité d'estimer l'offre alternative, constitue l'une des difficultés majeures de cet exercice et la qualité du modèle est sensible à la méthode d'estimation des variables de prix et de temps. Cependant, dans le cas des transports intercontinentaux, le contraste très fort entre les alternatives maritime et aérienne nous a permis de calibrer différentes formes du modèle désagrégé et de comparer des modèles 'à poids le l'envoi constant' avec des modèles 'à poids variable suivant le mode'. Cet exercice a été rendu possible par la richesse des données de l'enquête test auprès des chargeurs et notamment par les informations relatives au lien entre un chargeur et son client, qui permet d'estimer le poids de l'envoi pour un mode alternatif. La qualité du devrait pouvoir être largement améliorée lorsque les données, beaucoup plus nombreuses, de la nouvelle enquête en préparation seront disponibles.

Le principal résultat de cette recherche est que l'estimation simultanée du poids de l'envoi et du mode de transport améliore significativement la qualité du modèle de choix modal : par rapport à un modèle désagrégé classique, dans lequel le poids de l'envoi est supposé identique quelle que soit l'alternative choisie, le modèle qui simule en même temps le choix du poids de l'envoi et le choix du mode de transport donne, pour toutes les variantes testées, une meilleure précision des coefficients estimés et augmente significativement la capacité du modèle à simuler correctement le choix modal.

INTRODUCTION

Le modèle proposé ici se base sur les données de l'enquête auprès des chargeurs de 1999 (enquête européenne dite 'Mystic') et s'inscrit dans la perspective du renouvellement de cette enquête à l'échelle nationale. Il vise d'une part à appliquer aux transports intercontinentaux un modèle désagrégé qui a déjà fait ses preuves pour les transports terrestres. D'autre part, on améliore la forme de ce modèle en simulant simultanément le choix du poids de l'envoi et de l'alternative de transport.

La poursuite des travaux sur les enquêtes chargeurs

Dans sa conception, l'enquête chargeurs se prête bien à l'analyse du fret aérien. Ces enquêtes fournissent un grand nombre de renseignements sur les établissements chargeurs, leurs envois et les chaînes de transports correspondantes. Par rapport aux sources d'information qui comptent des tonnes ou tkm, cette enquête qui prend l'envoi pour unité statistique et observe l'ensemble de la chaîne de transport, est particulièrement adaptée au fret aérien. En effet les expéditions aériennes comprennent une large part d'envois de faible tonnage et font toujours partie d'une chaîne multi-modale dont l'organisation logistique est elle-même déterminante pour les choix.

Les données utilisées seront décrites au chapitre 2. Des données de même type (enquête chargeurs française de 1988) ont déjà été utilisées par F. Jiang¹ pour modéliser le choix modal dans les transports terrestres. Le modèle développé ici adapte aux transports intercontinentaux, la modélisation désagrégée du choix modal développée pour le transport terrestre et cherche à en améliorer la forme. La modélisation porte ici sur le choix entre transports maritimes et aériens ou, plus exactement, entre des chaînes de transport dont le maillon principal est soit maritime soit aérien.

Un modèle de choix du mode aérien

Pour le secteur maritime dans son ensemble, le choix entre aérien et maritime n'est pas un enjeu capital car le fret aérien ne représente pas grand chose par rapport au fret maritime. Toutefois la concurrence peut être vive sur certains segments de marché, en particulier pour les projets de navires de fret à grande vitesse. Pour le secteur aérien, la concurrence du maritime est plus importante, notamment dans la perspective d'une amélioration sensible de l'offre maritime sur les relations qui concentrent le plus fort trafic. Le fret aérien connaît une croissance rapide aussi l'amélioration du comportement des chargeurs et opérateurs de transport vis à vis de ce mode constitue un enjeu

pour les pouvoirs publics, notamment en raison des problèmes de saturation des aéroports et d'environnement ;

¹ Fei Jiang (1998): choix modal et système logistique en transport de marchandises, thèse pour le Doctorat de l'ENPC, option Transport, 212 p. + annexes

pour les compagnies aériennes, les aéroports et leurs partenaires de la chaîne logistique : connaissance des pratiques de leur clientèle et de sa sensibilité aux caractéristiques de l'offre.

La forme du modèle : choix simultanés du mode et de la taille de l'envoi

La modélisation de la demande en général et celle du choix modal en particulier, est nettement moins avancée pour le fret qu'elle ne l'est pour les voyageurs. Ceci s'explique en partie par le fait que les moyens consacrés aux recherches sur le fret ont été moins importants que ceux consacrés aux voyageurs, qu'il s'agisse du recueil de données pertinentes ou du temps consacré à la modélisation. Mais ce 'retard' dans la modélisation de la demande de transport de marchandises tient aussi aux difficultés conceptuelles qui lui sont propres. Et l'un des points critiques de cette modélisation est la séquence des 'décisions' qui aboutissent au choix d'une alternative de transport. Il est de plus en plus admis que la prise de décision d'une solution de transport porte simultanément sur le choix du mode et sur le poids et la fréquence des envois. Pourtant très peu de modèles ont réussi à traiter simultanément de ces choix², alors que les caractéristiques du service de transport pour un mode donné, et en particulier le prix de transport par unité de poids, qui est l'une des variables clefs du choix modal, varie très sensiblement en fonction du poids de l'expédition.

Une hypothèse centrale de cette recherche est donc que le chargeur choisit le poids de son expédition en même temps que le mode d'acheminement de celle-ci : s'il doit envoyer dans l'année 120 tonnes d'un produit à un même client il optimisera la taille et la fréquence de ses envois selon le mode retenu et enverra par exemple chaque mois un conteneur maritime de 10 tonnes ou chaque semaine une palette aérienne de 2.5 tonnes. Dans le cas du transport intercontinental, le choix porte seulement entre les chaînes maritime et aérienne ; cette nécessité de choisir simultanément le mode et la taille de l'envoi apparaît encore plus clairement : pour l'aérien 'classique', hors les avions gros porteurs affrétés, les envois dépassent rarement deux tonnes alors qu'un conteneur de 20 pieds, qui constitue l'unité de transport courante pour les lignes maritimes régulières, contient souvent entre 8 et 15 tonnes de marchandises. L'intérêt de l'approche développée ici est qu'elle s'appuie sur des données désagrégées et très 'riches' qui indiquent notamment les principaux paramètres de la logistique du chargeur, indications très utiles pour simuler le choix de la taille de l'envoi et au premier rang de ces variables, le volume annuel envoyé vers le même destinataire. L'idée est alors, pour apprécier l'intérêt de ces variables logistiques en terme de valeur ajoutée à la modélisation, de comparer les paramètres estimés à partir d'un modèle 'à taille de l'envoi variable selon le mode retenu' avec ceux d'un modèle dans lequel le poids de l'envoi est indépendant du mode.

Contenu du rapport

Le premier chapitre décrit les différents types de modèles de choix modal développés pour les marchandises, de manière à situer notre exercice parmi les travaux publiés.

² Par exemple : Abdelwahab and Sargious (1992) : Modeling the demand for freight transport : new approach ; journal of transport economics and Policy 26 n°1, pp 49-70

Chiang, Roberts & Ben Akiva (1981) : Development of a policy sensitive model for forecasting freight demand – final report for the DOT Report DOT P 30 81 04 Washington..

Le second chapitre décrit à grands traits les enquêtes chargeurs qui fournissent les données de base. Parmi les différentes enquêtes de ce type nous avons travaillé sur les données de l'enquête 'Mystic', du nom du projet européen qui a permis de la financer. L'un des obstacles à la modélisation du choix aérien réside dans l'importance des maillons non aériens de la chaîne de transport et dans la difficulté à décrire cet ensemble. Le temps total de transport, de porte à porte, dépend moins du trajet aérien que des temps 'autres' (attente à l'aéroport, pré et post-acheminement). De même le coût total de la chaîne de transport, dans le marché du transport aérien 'classique' (hors intégrateurs) ou dans celui du transport maritime de ligne, comprend des prestations annexes ; ce coût total est très variable selon l'offre et selon la relation commerciale. Ces caractéristiques de l'offre de transport, temps et prix, sont assez bien cernées par l'enquête pour le mode choisi. En revanche il faut les estimer pour la chaîne alternative concurrente : ce sera l'objet de la deuxième partie de ce chapitre, consacrée aux traitements opérés pour enrichir ces données et constituer la base utilisée dans cette modélisation.

Le troisième chapitre traite de la modélisation du choix modal proprement dite. Après avoir défini quelques caractéristiques des établissements utilisateurs de l'aérien et du maritime, nous décrivons les résultats de la modélisation à partir d'un modèle logit et les paramètres du modèle. Pour apprécier l'intérêt du modèle retenu, qui simule en même temps le choix du mode et celui du poids de l'envoi, nous comparons la qualité du modèle 'à taille de l'envoi fonction du mode retenu' avec ceux d'un modèle 'à poids de l'envoi indépendant du mode'. Puis nous comparons les résultats des modèles logit et probit. Comme les résultats sont sensibles à la méthode d'estimation des variables caractéristiques des chaînes alternatives, ces comparaisons sont reproduites avec différents jeux de variables.

Le chapitre quatre synthétise les principaux résultats de notre modèle en matière d'élasticités et de valeurs du temps estimées par mode, que nous comparons avec ceux des travaux antérieurs dans le même domaine sur les modes terrestres.

La conclusion revient sur les deux objectifs de ce travail : la modélisation du choix entre aérien et maritime pour les envois intercontinentaux et sur la forme du modèle et notamment l'intérêt de modéliser simultanément le choix du mode de transport et celui du poids de l'envoi.

CHAPITRE 1 : LES MODELES DE CHOIX MODAL

La répartition du trafic de marchandises entre les modes concurrents est une question centrale dans la modélisation de la demande de transport et différentes méthodes ont été utilisées pour essayer de comprendre comment le fret est réparti entre les modes de transport ou alternatives disponibles.

Les modèles de choix modal supposent que les chargeurs choisissent le mode en fonction des caractéristiques de la demande et de l'offre et selon leur fonction d'utilité. Puisque les transports consomment des ressources limitées, la valeur de l'utilité est le plus souvent négative. L'utilité réelle est inconnue, car elle dépend de trop nombreux facteurs et appréciations personnelles qui influencent le choix. Cependant, l'influence des facteurs principaux du choix, tel que le temps et le coût, peut être estimée avec un certain degré d'exactitude.

Parmi les modèles économétriques, un développement important a été l'introduction des modèles dits de choix modal discret de demande de transport. Ces modèles essaient d'expliquer la demande de transport comme une fonction du niveau de service et des caractéristiques de la demande. Ils permettent 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. Pour calibrer un modèle de ce type, il faut estimer les paramètres des variables caractéristiques de la demande et de l'offre qui précisent la sensibilité des chargeurs aux changements de ces variables explicatives. Ces paramètres sont utilisés pour mieux comprendre la nature de la concurrence intermodale.

Selon la théorie de l'utilité, on suppose 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 décompose en deux parties : une composante systématique et une composante aléatoire.

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

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

Avec cette fonction d'utilité, deux types de modèles peuvent être calibrés : modèle logit et modèle probit.

Le modèle logit s'écrit comme :

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

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

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

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 le choix modal est entre deux modes, le modèle probit binaire peut être écrit sous la forme :

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

Φ : désigne la distribution normale cumulative

σ : variance du terme d'erreur

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. Le modèle de choix modal 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. Si la recherche en modélisation du choix modal des marchandises avance moins rapidement que celle des voyageurs, des progrès considérables ont quand même été effectués pendant les années 80 et, en Europe, il existe de plus en plus d'études sur la modélisation du choix modal depuis les années 90.

Des modèles de choix désagrégé classiques ont été calibrés par WATSON ET AL. [1974], et par DAUGHETY [1979] ET WINSTON [1980] qui essaient de se focaliser sur la décision de choix modal prise par le manager logistique. On suppose que ce manager cherche à maximiser son utilité sur la dépense et le service qu'il reçoit en utilisant un mode donné. DAUGHETY 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. JIANG (1998,2002) a calibré des modèles logit en ajoutant les caractéristiques de chargeur dans la fonction utilité. Dans ces modèles les données utilisées sont des données en préférences révélées (en anglais Revealed Preference ou RP).

Mais les données en préférences révélées sont rares ; elles comportent souvent de nombreuses données manquantes et ne permettent pas d'analyser l'impact, sur le choix modal, des variables qualitatives comme la flexibilité. Aussi utilise-t-on de plus en plus un autre type de données dit données en préférences déclarées (Stated Preference ou SP). Dans ce type d'enquête, on interroge le chargeur, par un jeu d'hypothèses, sur ses réactions face à une offre alternative ou à une modification de l'offre existante. FOWKES et TWEDDLE [1988] ont modélisé le choix modal avec des données de préférences déclarées en utilisant le modèle logit. Ils ont utilisé les variables : coût de transport, fréquence, temps de transport, pourcentage d'arrivées à temps et dommages occasionnés. WIDLERT et BRADLEY [1992] ont aussi analysé le choix modal entre la route et le fer avec les données en 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.

Récemment beaucoup de modèles ont été calibrés en utilisant les données en préférences déclarées. Par exemple, Fosgerau (1996) a calibré un modèle pour le choix entre ferry et le mode terrestre ; Kurri, Jari, Ari Sirkiä et Juha Mikola (2000) un modèle de choix entre rail et route en Finlande ; Fowkes, Firmin, Whiting et Tweedle (2001) ont utilisé des données en préférences déclarées pour le choix parmi différentes alternatives routières. D'autres études utilisent à la fois des données SP et RP pour profiter les avantages des deux approches. En France, les travaux de De-Jong, Vellay et Houée (2001) en constituent l'illustration la plus récente : ces auteurs ont développé un modèle de choix entre le rail, la route et le transport combiné sur la base de données SP/RP.

Un développement important de la modélisation du choix modal est le calcul de la valeur du temps. Les chargeurs doivent prendre leur décision de choix modal avec une connaissance imparfaite des attributs de différentes alternatives de transports comme le temps de transport, la fiabilité, etc.. Leur décision est donc influencée par leur attitude vis à vis du risque et par leur évaluation monétaire des attributs de transport comme la valeur du temps. Aussi, un objectif important de la modélisation du transport de marchandises consiste à calculer ces valeurs qui sont de plus en plus largement utilisées pour analyser l'influence des changements de la demande et de l'offre sur le choix modal.

CHAPITRE 2 : LES DONNEES UTILISEES

Pour ce travail, nous avons eu recours aux données de l'enquête auprès des chargeurs qui a été réalisée dans le cadre du projet européen Mystic. Nous décrivons brièvement ci-dessous la méthodologie de cette enquête, développée à l'Inrets depuis une quinzaine d'années, puis nous indiquons le champ de l'enquête dont les données ont été utilisées et les traitements réalisés pour constituer la base de données qui a servi à cet exercice de modélisation.

2.1 L'enquête Mystic

2.1.1 Objectifs et méthode des enquêtes chargeurs

De nombreuses enquêtes auprès des chargeurs ont été réalisées à travers le monde pour appréhender la demande de transports de marchandises : l'une des plus connue est l'enquête américaine qui traite principalement des flux de marchandises entre Etats. Aux Pays-Bas, au moins cinq enquêtes auprès des chargeurs ont été menées au cours des douze dernières années sur les transports de marchandises. L'objectif commun de ces enquêtes est de décrire la demande de transport qui émane des activités de production et de commerce génératrices de fret. L'enquête utilisée ici s'efforce d'appréhender les contraintes et les besoins en transport de ces activités, d'identifier les facteurs (organisation de la production, contraintes de distribution, configuration spatiale des échanges...) qui déterminent les caractéristiques des envois remis aux transporteurs, afin de rattacher les flux de marchandises au tissu économique et de comprendre l'évolution des transports.

Mais ce qui fait l'originalité de la 'méthode française' d'enquête auprès des chargeurs développée à l'Inrets, c'est le suivi des envois à chacun des maillons de la chaîne de transport (Guilbault et al . 2000) : chaque opérateur de transport qui est intervenu sur l'envoi suivi a été interrogé sur son intervention, qu'il ait réalisé un trajet, une activité logistique, par exemple groupage ou empotage ou qu'il ait contribué à l'organisation de ce transport. Cette double description, des maillons de la chaîne physique et des acteurs (transporteurs et auxiliaires), de leurs caractéristiques économiques, de leurs relations de partenariat ou de sous-traitance, se prête à une approche modélisatrice à partir des caractéristiques de la demande et des opérateurs.

Les questionnaires : quatre niveaux d'information :

L'information sur les établissements est demandée au responsable de l'établissement ou du service logistique, au cours d'un entretien face à face. Les questions portent sur les caractéristiques économiques de l'établissement (activité, partenaires commerciaux, équipements de transport et stockage, proximité des infrastructures...) et ses transports (volume annuel, structure géographique, principaux modes utilisés par grandes destinations ...). Ces questions permettent en particulier de saisir la fréquence d'utilisation des différents modes de transport, notamment l'aérien et le maritime.

A la fin de ce questionnaire, les 10 derniers envois de l'établissement sont recensés et 3 envois sont tirés aléatoirement dans cette liste. De nouvelles questions recensent les caractéristiques physiques et économiques précises de chacun de ces trois envois sélectionnés et permettent d'identifier les différents intervenants qui ont contribué à cet envoi et qui sont connus du

responsable de l'établissement. Chacun des intervenants identifié est interrogé, cette fois-ci par téléphone : transporteurs ou prestataires logistiques mais aussi les autres établissements de l'entreprise ou du groupe, les confrères chargeurs, le destinataire. Les questions portent sur leurs caractéristiques et sur la nature de leur intervention. S'ils ont eux-mêmes contacté d'autres intervenants, ceux-ci sont identifiés pour être interrogés à leur tour et pouvoir ainsi compléter l'ensemble de la chaîne de transport jusqu'au destinataire final. Ces intervenants doivent en particulier décrire, le cas échéant, le ou les trajets qu'ils ont fait parcourir à cet envoi. La chaîne de transport est ainsi décomposée, dans ces questionnaires, en autant de trajets que de modes ou de véhicules empruntés ou d'arrêts imposés pour le traitement de la marchandise (groupage, emballage, stockage...).

D'intervenant en intervenant, les chaînes de transport sont ainsi reconstituées avec une grande fiabilité en s'appuyant sur ce que chacun a effectivement fait. Dans l'enquête Mystic, ce suivi a été mené jusqu'aux frontières de l'Europe de l'Ouest, et comprend l'interview des destinataires de ces pays. Pour les envois intercontinentaux sur lesquels porte notre analyse, seuls ont été interrogés les intervenants ayant opéré sur le territoire européen, les trajets étant reconstitués jusqu'au premier point de rupture après passage de la frontière européenne. On connaît donc avec précision la partie européenne de la chaîne physique ou organisationnelle mais on ne connaît la partie hors Europe qu'à partir des déclarations des intervenants européens. Si l'on sait par exemple qu'un envoi à destination d'Indianapolis, au centre des Etats-Unis, est passé par le port de New York, on ne sait pas quel chemin il a emprunté ensuite (route, chemin de fer, ...).

2.1.2 L'enquête Mystic

La première enquête nationale auprès des chargeurs date de 1988. Elle reste à l'heure actuelle la seule base quantitative d'analyse des chaînes de transport relative aux expéditions des chargeurs français. En 1998-99, deux nouvelles enquêtes tests ont été lancées, dans la perspective du renouvellement de l'enquête nationale, afin d'en améliorer la méthode : la première enquête test a bénéficié d'un financement du Prédit et s'est concentrée sur les chargeurs de la région Nord-Pas de Calais³ ; seulement 4 envois aériens et 18 envois maritimes y ont été observés aussi n'avons nous pas retenu ces données. La seconde enquête test a bénéficié d'un financement de l'Union Européenne dans le cadre du projet Mystic du cinquième Programme Cadre de Recherche et Développement (PCRD) (Cf. collectif - à paraître ; cf. aussi Rizet et al. 2001) ; elle était centrée sur les expéditions internationales et, de ce fait, compte un nombre significatif d'envois qui ont eu recours aux transports aériens ou maritimes, contrairement à la précédente. Ce sont les données de cette enquête Mystic sur les envois intercontinentaux qui sont utilisées ici.

Champ d'enquête et sélection des établissements

L'enquête chargeurs de 1988 portait sur 1 750 établissements et plus de 5 000 envois répartis sur 20 secteurs couvrant l'ensemble des activités industrielles hors agriculture et industries primaires d'extraction ainsi que l'ensemble des commerces de gros. Dans l'enquête en préparation, l'objectif est d'obtenir 8 à 10 000 envois ce qui permettra une meilleure couverture des différentes activités et des modes de transport. Dans l'enquête Mystic dont

3 "Préparation d'une nouvelle enquête auprès des chargeurs : Résultats de l'enquête test Nord-Pas-de-Calais" M. Guilbault, F. Piozin, Ch. Rizet INRETS/DEST
Rapport final Prédit, septembre 2000. Convention DTT n°690-9819.

l'objectif était principalement méthodologique, seulement 210 établissements de plus de 10 salariés ont été enquêtés, ce qui ne permettait pas de couvrir l'ensemble de ces activités. L'échantillon a été concentré sur trois régions et trois secteurs d'activités :

- métallurgie et travail des métaux en Rhône-Alpes ;
- industrie automobile et biens d'équipements en Ile de France ;
- industrie agroalimentaire en Alsace-Lorraine ;

Ces secteurs ont été choisis notamment parce qu'ils sont exportateurs mais aussi parce qu'ils ont recours à des envois lourds (métallurgie, agroalimentaire). La représentation du maritime faisait partie de l'objectif de l'échantillonnage mais le mode aérien en revanche n'était pas particulièrement visé. Cette enquête a été menée simultanément en France et aux Pays-Bas mais seules les données de l'enquête française ont été utilisées ici.

2.1.3 Sélection des envois maritimes et aériens intercontinentaux

L'enquête française Mystic comporte 640 envois observés, parmi lesquels, après différents contrôles, 69 ont emprunté la voie aérienne, (que nous nommons par raccourci chaînes aériennes ou envois aériens), 130 la voie maritime et 447 des voies terrestres uniquement. Nous disposons donc d'un échantillon 'Air-Mer' de 199 envois maritimes ou aériens de la base Mystic. Nous effectuons ensuite une sélection sur les destinations, de façon à ne conserver que les envois intercontinentaux, pour lesquels le seul choix de transport se situe entre les voies aérienne et maritime. Restent alors, dans cet échantillon 'intercontinental', 41 envois par voie aérienne et 88 envois maritimes, soit au total 129 envois. En croisant les destinations de ces observations avec le mode retenu (annexe 1), on constate que, pour un grand nombre de pays de destination finale, les deux modes, maritimes et aériens, sont utilisés.

Tableau 1 : Echantillon des envois maritimes et aériens de l'enquête Mystic

	Echantillon Air/Mer		Echantillon intercontinental	
	fréquence	pourcentage	fréquence	pourcentage
Chaînes maritimes	130	65	88	68
Chaînes aériennes	69	35	41	32
Total	199	100	129	100

Pour ces envois nous connaissons les caractéristiques de la chaîne de transport observée⁴, qu'elle soit maritime ou aérienne, et il nous faut estimer les caractéristiques de l'autre alternative. C'est le principe des enquêtes dites 'en préférence révélée', où l'on ne connaît que l'offre de transport effectivement choisie, par opposition aux enquêtes 'en préférences déclarées', dans lesquelles on interroge directement le chargeur sur ses réactions face à d'éventuelles modifications de l'offre.

L'hypothèse centrale que nous cherchons à vérifier dans cette recherche, est que le chargeur choisit le poids de son expédition en même temps que le mode d'acheminement de celle-ci. L'intérêt de l'enquête chargeur est de donner sur la logistique du chargeur des informations et notamment le volume annuel de marchandises envoyé vers le même destinataire, qui permettent de simuler le choix de la taille de l'envoi. Pour l'offre alternative, c'est à dire la chaîne maritime pour les envois observés sur l'aérien ou la chaîne aérienne pour les envois

⁴ sauf les maillons de la chaîne situés en dehors de l'Union Européenne et problèmes de variables manquantes

observés en maritime, les trois variables clefs à estimer sont alors le poids de l'envoi, le prix et le temps de transport.

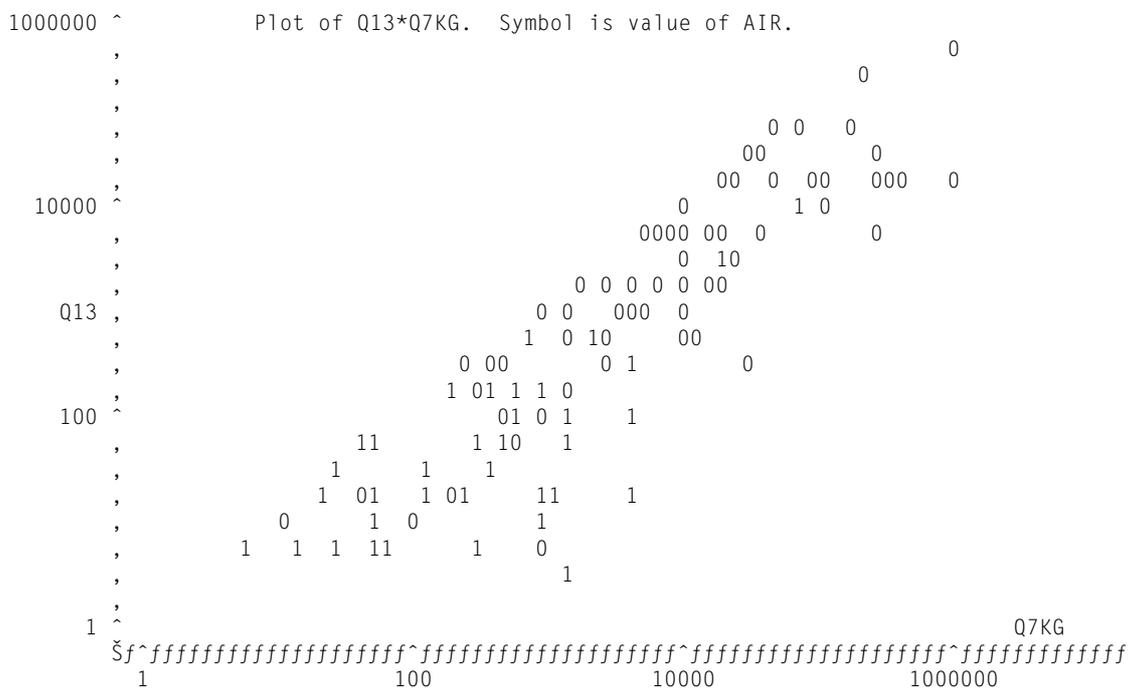
2.2 Estimation des caractéristiques du mode alternatif

Compte tenu du faible nombre d'observations, ces variables ne pourront pas être estimées avec une grande précision ; cependant le contraste très fort entre maritime et aérien nous permet d'espérer que les caractéristiques des deux modes seront suffisamment différentes pour permettre de modéliser le choix. Ce contraste important entre les deux modes est l'une des raisons pour lesquelles nous avons retenu les envois intercontinentaux pour tester l'intérêt de modéliser le choix du poids de l'envoi.

2.2.1 Estimation du poids de l'envoi pour le mode alternatif

Le poids qui aurait été choisi pour un envoi si le mode alternatif avait été choisi est fonction de ce mode alternatif et de la relation logistique entre le chargeur et son client. Parmi les informations disponibles sur cette relation, la principale variable susceptible d'expliquer le poids de l'envoi par mode ou chaîne de transport est la quantité annuelle expédiée vers le même destinataire. La figure 1 ci-dessous montre cette relation entre le poids de l'envoi, en abscisse et, en ordonnée, le tonnage annuel vers le même destinataire⁵ (figure1). Les envois aériens sont figurés par le chiffre 1 et les maritimes par un 0.

Figure 1: Poids de l'envoi en fonction du tonnage annuel vers le même destinataire.



Il existe une relation claire entre le volume annuel envoyé au même destinataire et le poids de l'envoi : le tonnage annuel est mathématiquement une limite supérieure pour le poids de l'envoi (un test a été fait pour contrôler cette cohérence lors de la constitution de la base) et le

⁵ Question q7 : Quel est le tonnage annuel de vos envois vers ce même destinataire ? Variable transformée ici en kg

poids de l'envoi croît nettement avec le tonnage annuel. Cette figure montre aussi que presque tous les envois aériens, figurés par le chiffre 1, sont de poids inférieur à 1000 kg, alors que quelques envois maritimes ont un poids inférieur à 100 kg. Et surtout, en tonnage annuel vers le même destinataire, la frontière entre ces deux types d'envois est moins nette : limite supérieure de 10 t pour l'aérien mais quelques envois maritimes correspondant à des tonnages annuels de moins de 100 kg. Il y a donc, entre ces deux valeurs, un réel choix possible (une concurrence) entre transports maritime et aérien, sous réserve que l'offre existe réellement.

Poids des envois maritimes

L'objectif est ici d'estimer le poids qu'auraient eu les envois que nous avons observés en aérien, s'ils avaient été transportés par la voie maritime. On se base pour cela sur la relation observée, sur les envois maritimes, entre le poids de ces envois et la quantité annuelle expédiée vers le même destinataire : une fonction log log linéaire de la variable 'quantité annuelle vers le même destinataire', donne un résultat satisfaisant ($R^2 = 0.76$ pour 79 observations cf. annexe). Le poids en kg d'un envoi observé en aérien, s'il était transporté en maritime, est alors estimé par

$$\text{kgmer} = \exp(0.9076 \ln(\text{tonnage annuel même destinataire}) - 0.5282)$$

Poids des envois aériens

Pour les envois aériens, la corrélation n'est pas très satisfaisante sur l'échantillon Intercontinental avec la fonction linéaire ($R^2 = 0.49$ pour 37 observations utiles sur 40 observations aériennes). De plus, l'estimation se fait sur des volumes annuels qui, sauf une exception, sont limités à moins de 10 tonnes alors que les poids d'envois doivent être estimés pour des volumes annuels beaucoup plus importants, jusqu'à plus de 1000 t pour les envois observés en maritime. Extrapoler à partir d'une telle droite conduirait à des envois d'un poids supérieur à la charge utile des avions. Nous avons donc retenu une fonction logistique qui admet un maximum et ce maximum, dans la fonction ci-dessous est de 4,4 tonnes par envoi. Le poids de l'envoi aérien est alors estimé par

$$\text{kgair} = 4334 / (1 + 8.466 \text{ E}+13 * \text{tonnage annuel même destinataire}^{-3.5})$$

Ce modèle donne un R^2 de 0.92 sur 38 observations utiles (cf. annexe). La forme de la fonction, d'abord concave puis convexe, peut s'interpréter comme l'existence d'une dichotomie dans les envois : le poids de l'envoi en fonction du tonnage annuel est d'abord faiblement croissant, peu sensible puis, au-delà d'un certain seuil, on arrive à un autre type d'envoi aérien, nettement plus lourd. Les petits envois pourraient par exemple correspondre au marché des intégrateurs (colis urgents) et les autres à des relations plus industrielles ou l'expéditeur cherche davantage à optimiser son coût de transport mais se trouve limité par la taille maximum des colis admissibles.

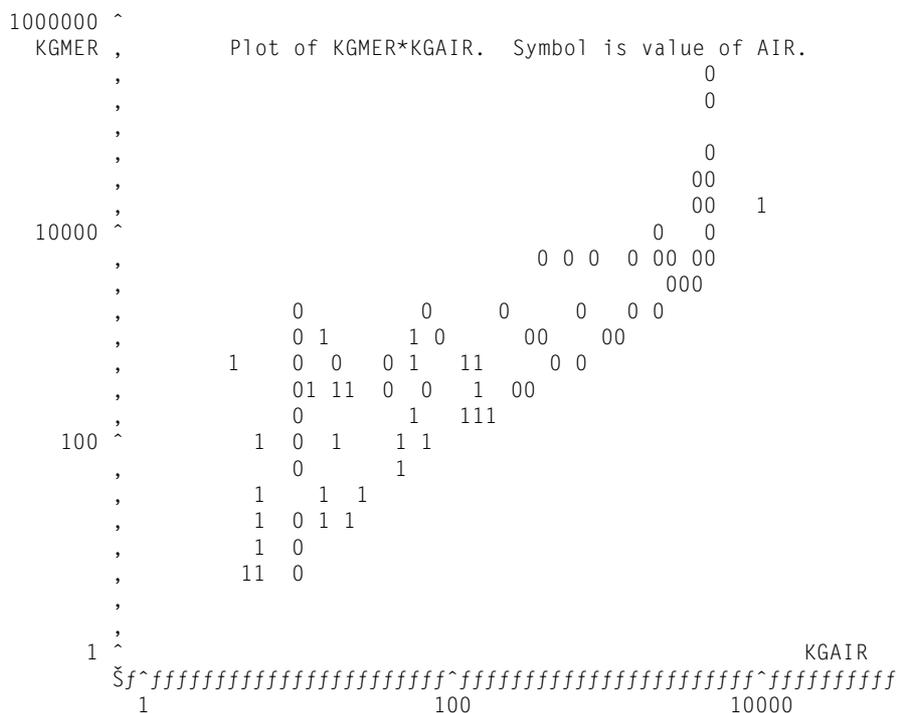
Comparaison entre les poids maritimes et aériens

Dans la figure 2, le poids de l'envoi a toujours été conservé pour la chaîne de transport observée et les contraintes suivantes sont imposées sur les poids calculés pour la chaîne alternative :

le poids maritime estimé ne doit pas être inférieur au poids aérien observé et le poids aérien estimé ne doit pas être supérieur au poids maritime observé. Si l'une de ces contraintes n'est pas respectée, on retient comme poids de l'alternative, le même poids que pour le mode observé.

Le poids estimé ne doit pas être supérieur au volume annuel expédié vers le même destinataire ; si tel était le cas, le poids de l'envoi est ramené à ce volume annuel.

Figure 2: poids des envois (en kg) selon le mode retenu



Dans la figure 2 comme dans la précédente, chaque envoi est représenté, selon le mode observé, par un ‘1’ (envoi aérien) ou un ‘0’ (envoi maritime). L’ordonnée est son poids maritime et l’abscisse son poids aérien. Pour les points qui se trouvent sur la première bissectrice, le poids du mode alternatif a été estimé identique au poids retenu par le chargeur pour l’alternative observée. Ceci tient aux contraintes introduites mais n’est pas du tout anormal : pour les petits envois principalement, l’expédition ne peut être divisée (une machine) et aura le même poids quelle que soit la chaîne de transport retenue. Cependant, pour une majorité d’expéditions, le poids de l’envoi par air est sensiblement inférieur au poids de l’envoi par mer.

2.2.2 Estimation du prix de transport pour le mode alternatif

Nous raisonnons ici en prix de transport par kilo d’envoi, que nous cherchons à estimer et sur lequel nous voulons connaître l’influence du poids. Si le chargeur qui envoyait ses marchandises par mer souhaite changer cette pratique pour recourir au transport aérien, il va généralement augmenter également la fréquence et réduire le poids de ses envois. Or on sait que, dans tous les pays et pour tout système de transport, le poids de l’envoi a une influence nette sur le prix de transport payé par unité transportée, sur une relation ou pour une distance donnée⁶. Le chargeur qui change son choix modal sur une relation donnée, d’une chaîne maritime à une chaîne aérienne, aura donc des prix au kg plus élevés, non seulement parce qu’il change pour un mode plus coûteux mais aussi parce qu’il change pour des envois de poids inférieur et donc d’un prix de transport à la tonne supérieur à celui qu’il aurait eu s’il avait conservé le même poids qu’en maritime.

Nous disposons d’assez peu d’observations sur les prix de transport car

⁶ Cf. Gouvernal et Hanappe (1995), Rizet et Gwét (1998).

seul l'expéditeur est interrogé puisque, par définition, les destinataires intercontinentaux sont en dehors du champ de l'enquête et par conséquent, pour les envois correspondant à des ventes 'départ usine', le prix de transport n'est pas renseigné ;

de plus, cette question est difficile même en cas de vente 'franco de port' et les prix sont parmi les questions où les taux de non-réponse sont les plus élevés.

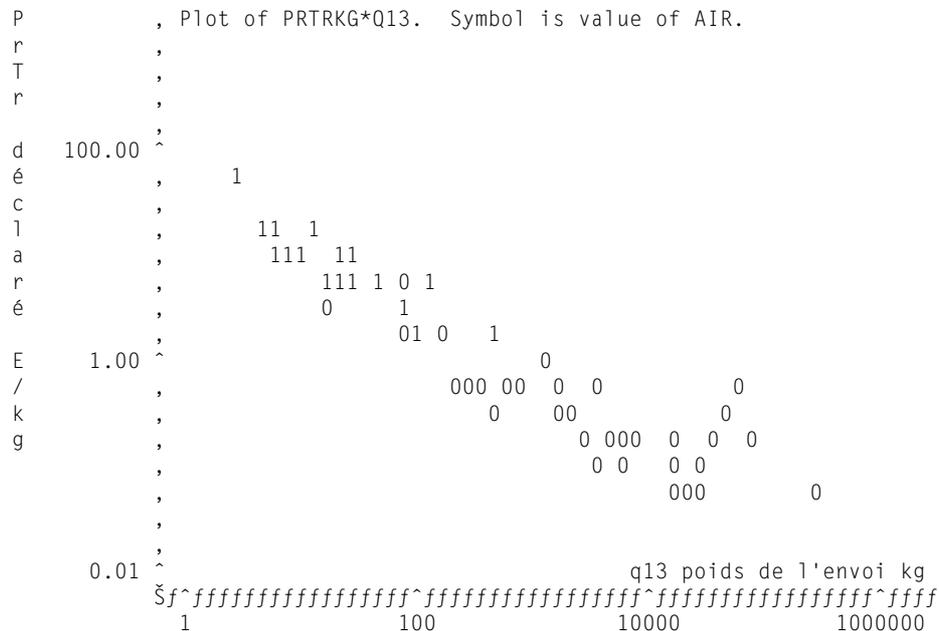
Le tableau ci-dessous indique la répartition des charges de transport entre l'expéditeur, le destinataire ou un partage entre les deux⁷ : 36 % des chaînes maritimes et 28 % des chaînes aériennes sont payées par le destinataire et on ne dispose d'aucune indication sur le prix de transport.

Tableau 2: Répartition de la charge du transport entre expéditeur et destinataire (données Air/Mer)

La charge du transport était	Chaînes maritimes		Chaînes aériennes		Ensemble	
	fréquence	pourcentage	fréquence	pourcentage	fréquence	pourcentage
à l'expéditeur	62	48	42	62	104	53
au destinataire	47	36	19	28	66	33
partagée entre eux	21	16	7	10	28	14
Total	130	100	68	100	198	100

Dans la figure ci-dessous la relation entre poids de l'envoi et prix de transport semble plus importante que la relation entre prix et type de chaîne : les envois aériens (figurés par des 1) sont plus chers que les envois maritimes (figurés par des 0) parce qu'ils ont plus légers mais la relation entre poids et prix de transport au kg ne semble, à première vue, pas très différente entre les deux modalités de transport.

Figure 3: Prix de transport en Euros/kg en fonction du poids de l'envoi

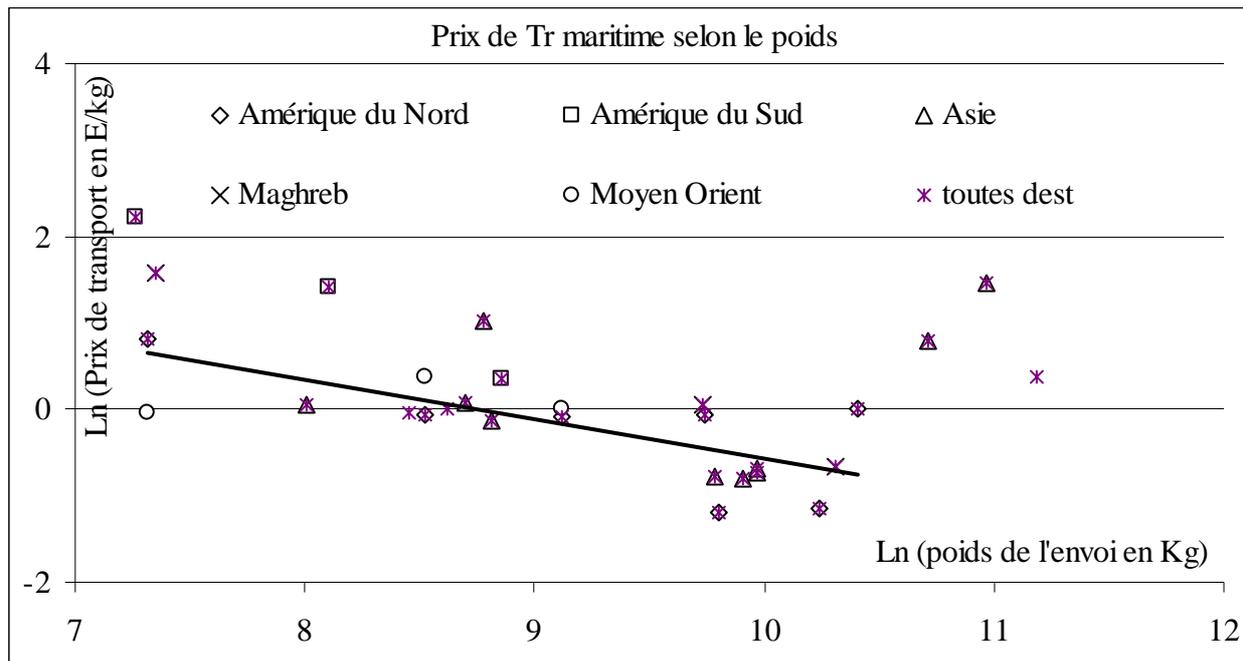


L'autre variable pour laquelle on s'attend à trouver une relation avec le prix de transport est le tonnage annuel à transporter de l'établissement, qui détermine le pouvoir de négociation du chargeur vis à vis de son transporteur.

Prix du transport maritime

7 Question Q24 : qui était contractuellement en charge du transport de cet envoi (incoterms) ?

Figure 4 : prix du transport maritime selon le poids de l'expédition



Sur le fichier des envois intercontinentaux, nous disposons de 36 observations utiles pour analyser le prix de la chaîne de transport maritime de bout en bout. Le prix de transport ainsi que les variables explicatives sont transformées en log. La principale variable explicative du prix de transport au kg est le poids de l'envoi (figure 2 ci-dessus).

Afin de tester la sensibilité du modèle de choix modal que nous voulons construire à ces valeurs estimées des caractéristiques de l'offre alternative, nous retenons deux prix de la chaîne de transport maritime : l'un estimé par le poids de l'envoi et le tonnage annuel exporté par ce chargeur :

$$\text{PrixTrmer1 (en Euros / kg)} = \exp[1.862 - 0.312 \log (\text{KgMer}) - 0.109 \log (\text{ton export /an})]$$

La régression linéaire sur les logarithmes pour 36 observations donne un R2 de 0.56 et deux coefficients significatifs au seuil de 5 % (cf. annexe).

L'autre prix est estimé avec le poids de l'envoi et le tonnage exporté par ce chargeur par mer uniquement :

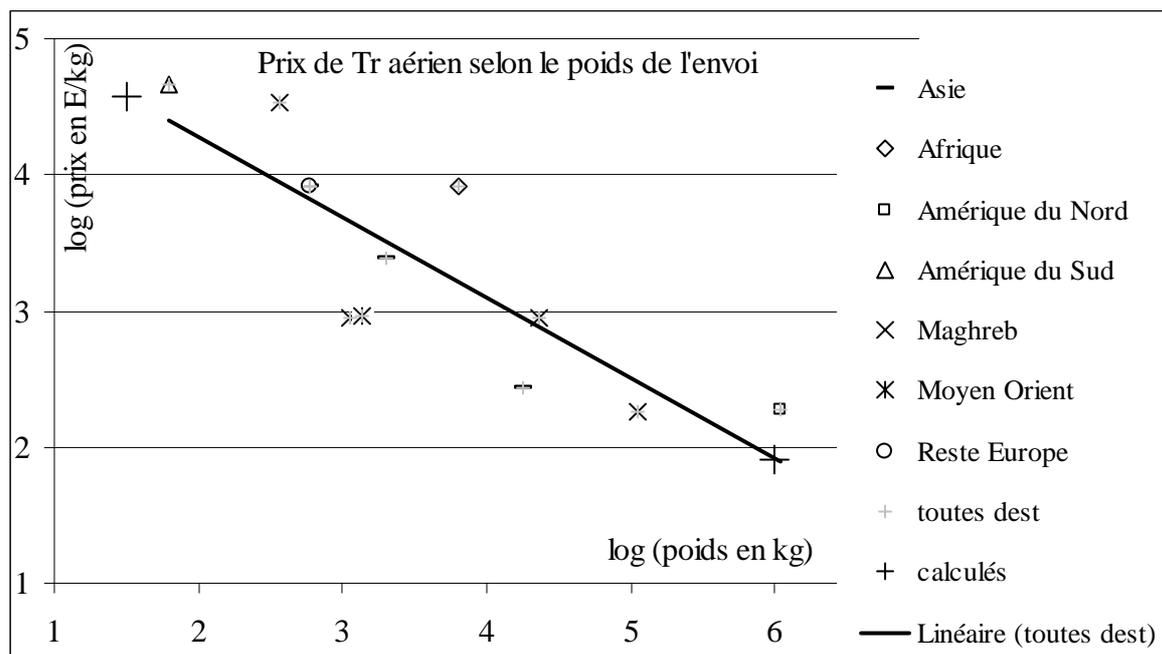
$$\text{PrixTrmer2 (Euros / kg)} = \exp[2.188 - 0.295 \log (\text{KgMer}) - 0.120 \log (\text{ton export mer /an})]$$

La régression linéaire sur les logarithmes pour 31 observations donne un R2 de 0.54 et deux coefficients significatifs au seuil de 5 % (annexe).

Prix du transport aérien.

Le graphe ci-dessous montre la relation entre poids de l'envoi et prix de transport au kg. On voit en particulier que la destination, figurée par quelques grandes régions ou continents, n'explique guère le prix de transport.

Figure 5 : prix du transport aérien selon le poids de l'envoi en Euros/kg



Sur la base Air Mer de l'ensemble des envois, y compris européens, nous disposons, de 68 envois aériens, dont 42 pour lesquels le transport est payé en totalité par le chargeur (expéditeur) et dont seulement 30 observations 'utiles', qui indiquent un prix de transport. Sur ces observations, la corrélation est très faible ($R^2 = 0.30$) entre le prix de transport et les variables explicatives, alors que cette corrélation, sans être bonne, est acceptable sur la base des envois intercontinentaux ; ceci semble indiquer que les prix sur le marché des transports aériens européen, s'établissent d'une manière différente de ceux du marché intercontinental : nous estimerons donc notre prix sur les seuls envois intercontinentaux.

Comme pour les prix maritimes, nous garderons deux estimations du prix : l'une basée sur une seule variable explicative (le poids de l'envoi) et l'autre basée sur le poids de l'envoi et le tonnage exporté par voie aérienne et par an.

$$\text{Prix trAir1 (en Euros / kg)} = \exp[3.57 - 0.588 \log (\text{KgAir})]$$

La régression linéaire sur les logarithmes pour 13 observations seulement donne un R^2 de 0.72 et deux coefficients significatifs au seuil de 5 % (cf. annexe).

L'autre prix est estimé avec le poids de l'envoi et le tonnage exporté annuellement par ce chargeur par air :

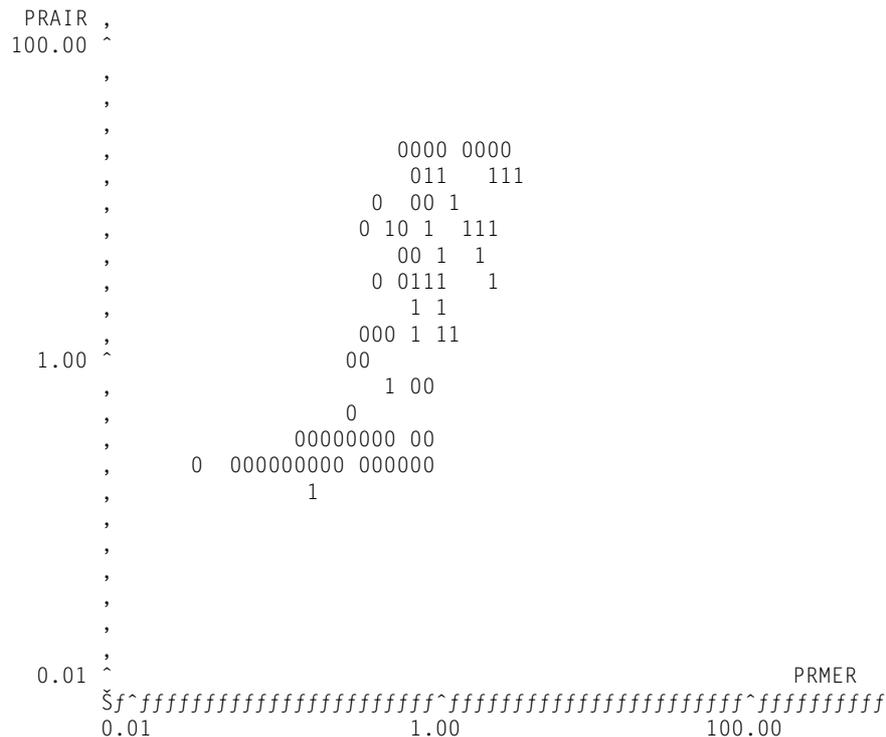
$$\text{Prix trAir2 (Euros / kg)} = \exp[4.055 - 0.603 \log (\text{KgAir}) - 0.0751 \log (\text{ton export air /an})]$$

La régression linéaire sur les logarithmes pour 13 observations donne un R^2 de 0.75 et deux coefficients significatifs au seuil de 5 % (cf. annexe). Le coefficient de la variable 'tonnage annuel exporté par air' n'est pas significatif au seuil de 5 %. Nous retenons cependant cette estimation afin de tester la sensibilité du modèle à la mesure de ces variables estimées.

Comparaison entre les prix aériens et maritimes

La figure ci-dessous permet d'apprécier le niveau des prix estimés relativement à celui des prix observés ; les envois y sont figurés par leur prix de transport, maritime en abscisse et aérien en ordonnée. Les envois observés en mode maritime, figurés par un '0', sont donc placés selon leur prix maritime observé en abscisse et selon leur prix aérien estimé en ordonnée. A l'inverse les observations aériennes, figurées par un '1', sont placées selon leur prix maritime estimé et leur prix aérien observé.

Figure 6 : Comparaison entre les prix de transport maritime et aérien



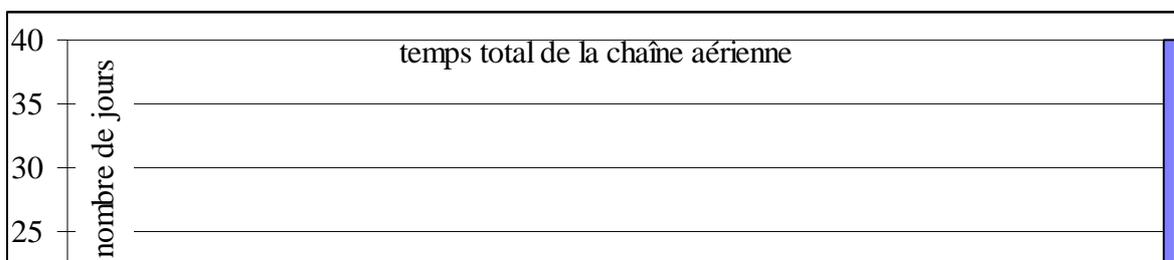
On vérifie notamment que les prix aériens sont généralement supérieurs aux prix maritimes. On observe également que pour un grand nombre d'envois maritimes, le prix aérien estimé est proche du prix plancher, légèrement inférieur à un euro / kg : ce sont des envois de fort tonnage

2.2.3 Estimation du temps de transport pour le mode alternatif

Temps de transport aérien

Pour les expéditions hors d'Europe, on ne connaît le temps de transport que jusqu'au premier arrêt situé hors d'Europe. Les expéditions aériennes qui sont dans ce cas doivent encore parcourir au moins un trajet terrestre terminal après cet aéroport et parfois, en plus, un vol de correspondance : dans tous les cas nous avons ajouté un jour après ce premier aéroport hors Europe. Le temps total ainsi obtenu s'étage entre un jour (expéditions pour Agadir, Douala) et 40 jours (Douala). Pour une même destination, il peut varier considérablement : pour Douala par exemple on observe 4 envois qui ont duré respectivement 1, 3, 6 et 40 jours.

Figure 7: temps de la chaîne aérienne (observé jusqu'à l'aéroport hors d'Europe et complété)



Nous disposons de 39 observations aériennes intercontinentales utiles pour estimer le temps de transport aérien ; afin d'augmenter ce nombre d'observations, nous avons également regardé les expéditions aériennes dont la destination finale se situe en Europe, au nombre de 20. Pour celles-ci on connaît la durée totale du transport jusqu'au destinataire final, par comparaison entre les dates de départ et d'arrivée ; il s'agit d'une durée exprimée en jours, les heures n'étant pratiquement jamais renseignées. Les temps de transport semblent alors assez différents entre les expéditions à destination de l'Europe (2,7 jours en moyenne) et le reste du monde (5,7 jours, en moyenne).

Parmi les expéditions intercontinentales, le temps de transport aérien est difficile à expliquer ; le minimum est de 1 jour mais le maximum de 40 puis de 14 jours. Ce sont en fait les temps d'attente qui en constituent la majeure partie au-delà de 1 jour et sont ainsi le principal élément de variabilité ; la durée du transport proprement dit, qu'il s'agisse des vols aériens ou des parcours terminaux par route, ne représente que rarement plus de deux jours. Compte tenu des informations disponibles, nous n'avons pas réussi à expliquer ce temps aérien aussi, pour les envois observés en maritime, nous avons retenu une durée de transport aérien proportionnelle à la durée de transport maritime. Le ratio retenu est le rapport entre la durée moyenne des chaînes aériennes (4,8 jours) et la durée moyenne estimée en maritime pour les mêmes envois selon la méthode indiquée ci-dessous (24 j.), soit 0,20.

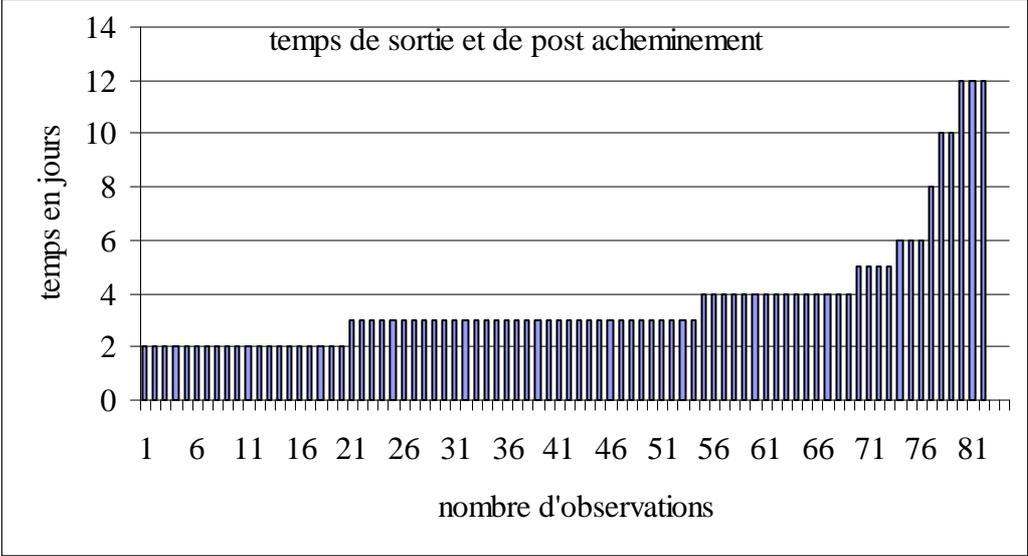
Temps de transport maritime

Pour les envois maritimes, on connaît le temps de transport jusqu'à l'arrivée au port de débarquement⁸ ; pour connaître le temps total de porte à porte, il nous faut donc estimer le temps de 'post-acheminement' qui comprend un délai de sortie du port (passage portuaire) et un temps d'acheminement jusque chez le destinataire. Le temps de sortie du port résulte de l'efficacité portuaire ; il a été modulé de la façon suivante : 2 jours pour l'Amérique du Nord et le Japon, 5 jours pour l'Afrique sub-saharienne et 3 jours pour les autres régions du monde (Amérique Latine, Australie, Afrique du Sud, Afrique du Nord et moyen Orient). Le temps d'acheminement a été estimé en tenant compte de la distance à la destination finale, notamment de l'éventuel passage par un autre navire (feeder), ce qui rallonge systématiquement la durée d'au moins 5 jours, compte tenu de la correspondance. Les délais

⁸ Sauf deux valeurs manquantes ; Le destinataire qui, dans le cas général de l'enquête Mystic, a indiqué la date d'arrivée de l'envoi, n'était pas interrogé lorsqu'il se trouvait en dehors des frontières de l'Europe.

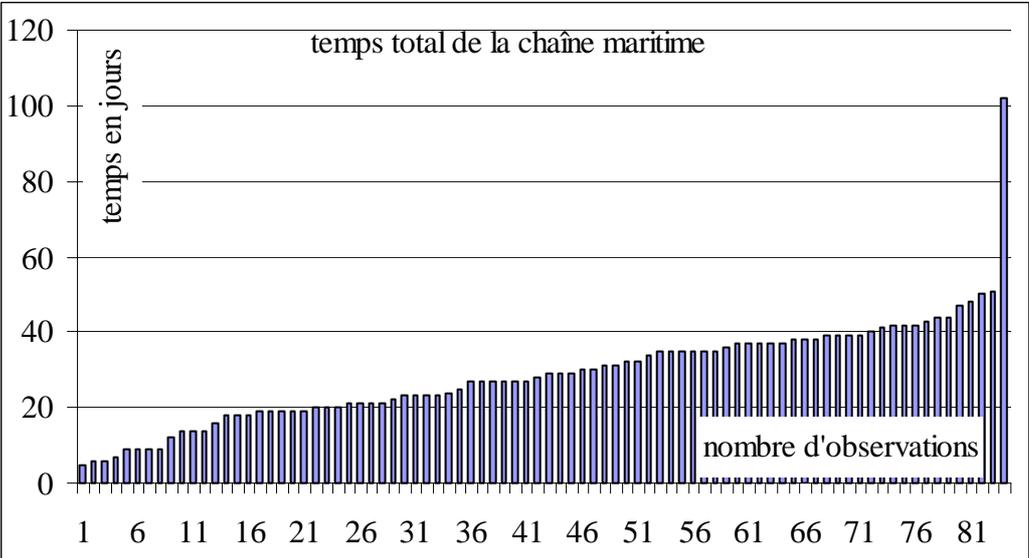
ainsi rajoutés pour la sortie du port et le post-acheminement vont de 2 à 12 jours et sont figurés dans le graphe ci-dessous.

Figure 8 : distribution des temps de sortie et de post-acheminement du transport maritime



Le temps total de la chaîne de transport maritime de bout en bout, lorsqu'on ajoute ce temps de post-acheminement au temps observé jusqu'au port maritime de sortie d'Europe, s'étale généralement entre 5 et 50 jours avec une observation de 102 jours à destination de la Chine ; le temps moyen, hors cette valeur extrême est de 24 jours.

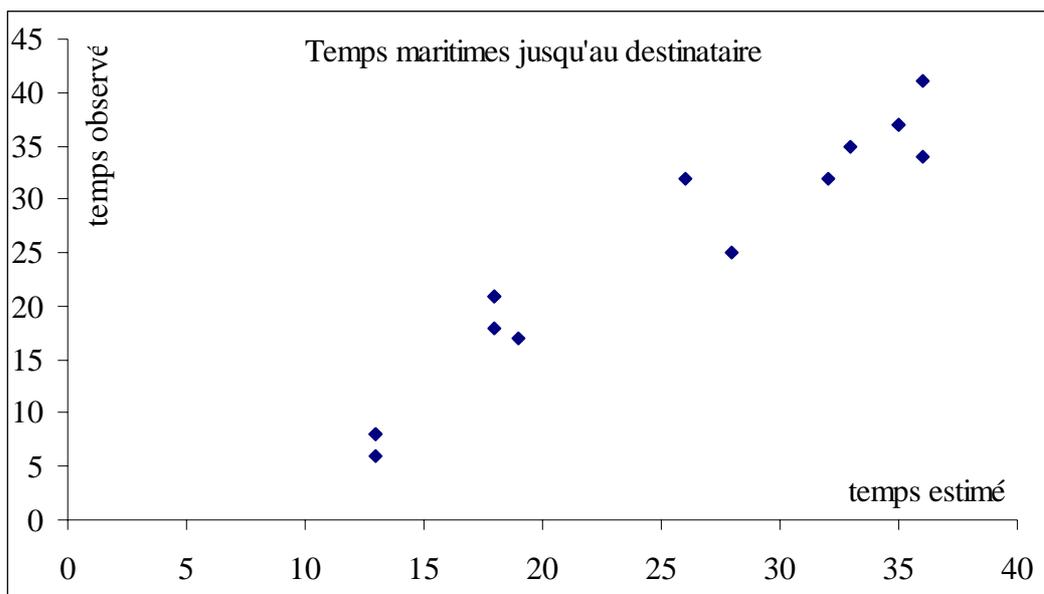
Figure 9 : Temps total de la chaîne maritime pour les 84 expéditions maritimes



Pour le temps maritime des envois observés aériens, il nous faut estimer, en plus du temps de 'post-acheminement', le temps de transport jusqu'au port d'embarquement en Europe (préacheminement) et le temps du transport maritime. Nous avons recherché sur une carte, le port de desserte de la destination finale ; pour ce port nous avons estimé un délai de sortie de la marchandise comme indiqué ci-dessous, puis nous avons regardé le temps du trajet

maritime entre le port de départ (Le Havre, Anvers ou Marseille) et ce port de destination, ainsi que la fréquence des navires. Ces informations sont accessibles à partir des horaires des principales compagnies maritimes, avec le service en ligne ‘Shipping guide’ (<http://WWW.shipguide.com>), ceux des ports du Havre et d’Anvers et de quelques compagnies. L’hypothèse, comme pour l’aérien, est que les chargeurs qui ont eu recours au maritime bénéficie d’une offre de meilleure qualité sur ce mode en moyenne, qu’ils connaissent mieux que ceux qui ont choisi l’aérien. Le temps des passages portuaire est donc en moyenne plus long pour ces derniers. Le temps de la chaîne de transport maritime est alors estimé en ajoutant trois jours pour le préacheminement terrestre et le passage portuaire, le temps d’attente estimé $[(30/\text{fréquence mensuelle}/2) + 1]$, la durée du trajet maritime indiquée par les compagnies, le délai estimé pour la sortie du port de destination (temps estimé pour les utilisateurs du maritime auquel nous ajoutons 1 jour) et cinq jours pour le post-acheminement terrestre. Le graphe ci dessous compare, pour les destinations sur lesquelles nous disposons d’observations maritimes et aériennes, ce temps total de la chaîne maritime ainsi estimé pour les expéditions aériennes aux temps observés sur les expéditions maritimes sur la même destination.

Figure 10: Comparaison entre temps de transport maritime observés et estimés



La comparaison ne porte que sur 12 observations ; on observe une bonne concordance entre temps estimé et temps observé, sauf pour les deux expéditions les plus rapides.

2.3 Conclusion du chapitre

L’enquête auprès des chargeurs donne une base d’information très riche par l’ensemble des questions posées et le suivi des envois mais, s’agissant de l’enquête test Mystic, le nombre d’envois aériens et maritimes observés est limité. Les données disponibles permettent d’estimer grossièrement les variables caractéristiques ‘poids’ et ‘prix’ de la chaîne de

transport alternative. L'estimation du temps pose davantage de problèmes pour l'aérien. Ainsi les variables pour le mode alternatif ne peuvent être estimées que très grossièrement et les résultats du calibrage du modèle devront être considérés avec circonspection. Toutefois, ces variables estimées devraient nous permettre une comparaison entre les différentes formes de modèles que nous voulons tester.

Toutes ces estimations de caractéristiques de la chaîne alternative mériteraient d'être vérifiées et affinées sur un nombre plus grand d'observations et il serait souhaitable, pour disposer d'observations en nombre suffisant dans l'enquête ECHO en préparation, de viser un nombre minimum d'envois aériens, comme cela avait été fait pour les envois maritimes dans l'enquête Mystic. Pour fixer cet objectif de nombre d'envois, il faut tenir compte des taux de non-réponse aux questions clés telles que prix, durée, valeur, délai maximum, tonnage annuel par mode et volume annuel sur un destinataire et des croisements à faire pour mener ces analyses (classes de destination, nature de la marchandise et conditionnement). Il faudrait alors, pour représenter le transport aérien, un minimum d'environ 200 observations aériennes par classe soit environ 1000 observations pour 5 classes avant tout croisement entre ces classes ; à comparer aux 10 000 observations demandées en tout dans cette enquête.

De nombreuses variantes ont été testées pour estimer ces caractéristiques de l'offre alternative. Il est souvent possible d'améliorer la qualité de l'estimation de ces variables de l'offre alternative en augmentant le nombre des variables explicatives. Mais, ce faisant, les observations pour lesquelles cette variable n'est pas renseignée deviennent inutilisables dans le modèle que nous cherchons à bâtir et la qualité finale de ce modèle n'est pas améliorée. Le calibrage du modèle sera sensible aux valeurs estimées de ces variables du mode alternatif. A titre d'illustration, deux méthodes d'estimation du prix unitaire de transport ont été retenues et seront utilisées successivement pour tester la sensibilité du modèle.

CHAPITRE 3 : MODELISATION DU CHOIX AIR – MER

Les variables explicatives dont nous disposons pour expliquer la part de marché de l'air et de la mer pour les envois intercontinentaux sont d'une part les caractéristiques de l'établissement et d'autre part les caractéristiques de l'envoi. D'autre part le choix modal peut être observé sur les envois mais aussi au niveau des établissements, qui ont indiqué la part de leurs tonnages confié aux différents modes⁹ Avant de modéliser le choix modal par envoi, nous avons cherché quelles sont les caractéristiques des établissements qui sont de gros utilisateurs du mode aérien ou du mode maritime. Peut-on définir, à partir des caractéristiques de l'établissement, le profil d'un établissement qui aurait recours, pour ses exportations, au mode aérien beaucoup plus qu'au maritime ou l'inverse ?

Puis nous simulons le choix modal par envoi à l'aide d'un modèle discret, logit ou probit et nous comparons diverses formes de modèles, en particulier un modèle dans lequel le poids est variable suivant le mode choisi que nous comparons avec le même modèle dans lequel le poids de l'envoi est identique dans les deux alternatives.

3.1 Le profil des établissements utilisateurs de l'aérien

La question qui demande au chargeur la part des principaux modes de transport en tonnage dans ses expéditions, en particulier l'aérien et le maritime, distingue une répartition pour les envois domestiques et pour les exportations. Notons qu'en combinant le pourcentage des tonnages expédiés par air d'une part et par mer d'autre part pour un même établissement ou un type d'établissement, on obtient un indicateur de la répartition modale air/mer des tonnages exportés par cet établissement. Seules les variables du niveau établissement sont retenues ici comme variables explicatives et cette analyse a été menée sur l'ensemble des établissements de l'enquête Mystic qui ont répondu à la question, soit 194 établissements pour l'aérien et 195 pour le maritime (sur 209 établissements observés).

3.1.1 Intensité d'usage du maritime et de l'aérien.

Plus de la moitié des établissements de l'échantillon (59 %) déclarent ne jamais utiliser ces modes mais quelques uns (3% des établissements pour l'air et 8% pour la mer) déclarent les utiliser pour plus de 30 % de leurs tonnages à l'exportation.

Tableau 3 : répartition des établissements selon le pourcentage d'utilisation des modes à l'exportation

Taux d'utilisation du mode à l'exportation (% des tonnes)	Aérien		Maritime	
	fréquence	pourcentage	fréquence	pourcentage
0%	115	59.3 %	114	58.5 %
0.01 à <5%	49	25.3 %	43	22.1 %
5 à < 30%	24	12.4 %	23	11.8 %
> 30%	6	3.1 %	15	7.8 %
Ensemble	194	100 %	195	100 %

⁹ Question p7 du pré-questionnaire établissement : quels sont les principaux modes de transport auxquels vous avez recours en % des tonnes ?

Le résultat est presque identique quand on regarde la part de l'air ou de la mer dans l'ensemble des expéditions au lieu de ne considérer que les exportations : en fait, les chargeurs indiquent très souvent le même pourcentage lorsqu'il s'agit de l'ensemble de leurs transports ou de leurs seules exportations. Enfin, il n'apparaît pas de corrélation ni de relation significative entre le taux d'utilisation du maritime et celui de l'aérien pour un chargeur.

3.1.2 Secteur d'activité et choix modal air/mer

Le tableau suivant indique le taux moyen d'utilisation de l'aérien et du maritime dans les exportations (% des tonnes) par secteur d'activité. Parmi les activités représentées dans l'échantillon, l'industrie du matériel de transport et dans une moindre mesure les autres activités des biens d'équipement, ont un usage plus intensif de l'aérien que les autres secteurs. C'est également ce secteur de l'industrie des biens d'équipements qui a le plus fort taux d'utilisation du maritime, suivi par l'industrie des boissons. Mais cette dernière, comme les autres industries agroalimentaires n'a que très rarement recours à l'aérien. Aussi, les industries agroalimentaires ont-elles une répartition modale très favorable au maritime ; seules les industries du matériel de transport et celles du travail des métaux ont une répartition modale légèrement favorable à l'aérien.

Tableau 4: Parts moyennes des modes aérien et maritime à l'exportation selon l'activité

	Nbre d'obs.	% tonnes Air	% tonnes Mer	%Mer / %Air
Industrie agro.alimentaire	46	0.4	4.0	10
Dont industrie des boissons	10	0.4	9.6	24
Métallurgie et travail métaux	78	3.0	3.9	1.3
Dont Métallurgie	17	0.5	7.2	14
Travail métaux	61	3.7	3.1	0.8
Ind. transports et équipements	70	6.5	10.3	1.6
Dont matériel de transport	12	11.8	8.9	0.8
autres équipements	60	5.2	10.2	2.0
Ensemble	194	3.6	6.2	1.7

3.1.3 Appartenance à un groupe et choix modal air/mer

Tableau 5: Parts des modes à l'exportation selon l'appartenance à un groupe

	Nbre d'obs.	% tonnes Air	% tonnes Mer	%Mer / %Air
L'étab. appartient à un groupe	22	5.1	19.3	3.8
N'appartient pas à un groupe	18	11.6	17.7	1.5

Qu'ils appartiennent ou non à un groupe, les établissements utilisent le maritime pour 18 à 19 % de leur tonnage. En revanche leur utilisation du mode aérien est nettement différenciée : près de 12% pour les établissements 'mono entreprise' contre 5 % pour ceux qui appartiennent à un groupe. Ces derniers ont donc une répartition modale beaucoup plus maritime pour leurs exportations.

3.1.4 Taille de l'établissement et choix modal air/mer

La taille de l'établissement est appréciée ici par le nombre d'employés. Plus les établissements sont grands et plus ils sont favorables au maritime alors que, pour l'aérien, ce sont les établissements de taille moyenne (50 à 199 salariés) qui semblent avoir le plus recours à ce mode. Au total, la taille de l'établissement ne semble pas avoir d'influence forte sur la répartition modale air / mer de ses exportations.

Tableau 6: Parts des modes à l'exportation selon le nombre de salariés de l'établissement

Salariés de l'établissement	Nbre d'obs.	% tonnes Air	% tonnes Mer	%Mer / %Air
1 à 19	38	2.9	5.7	2.0
20 à 49	78	2.0	4.0	2.0
50 à 199	54	6.4	8.5	1.3
200 et plus	24	3.7	9.2	2.5
ensemble	194	3.6	6.2	1.7

Si l'on considère maintenant comme indicateur de l'importance de l'établissement le tonnage exporté au lieu du nombre d'employés, il apparaît que les petits établissements sont favorables à l'aérien, les gros établissements au maritime et que globalement moins l'établissement exporte et plus son choix modal est favorable au transport aérien.

Tableau 7: Parts des modes à l'exportation selon le tonnage exporté par l'établissement

Tonnage exporté par an	Nbre d'obs.	% tonnes Air	% tonnes Mer	%Mer / %Air
< 10 t.	51	7.4	1.3	0.18
10 à <100 t.	55	1.9	3.3	1.7
100 à < 1000 t	49	3.7	9.8	2.6
1000 t. et plus	39	1.0	12.6	12.6
ensemble	194	3.6	6.2	1.7

Pourtant la régression entre la part de chaque mode ou le rapport des tonnages de ces deux modes avec le tonnage annuel exporté montre que cette variable n'est pas significative.

3.1.5 Accessibilité des infrastructures et choix modal air/mer

Deux questions permettent d'apprécier l'accessibilité de l'établissement aux différentes infrastructures de transport : une question qualitative¹⁰ (considérez vous l'infrastructure, port ou aéroport, comme facilement accessible ?) et une question quantitative¹¹ (à quelle distance se situe cette infrastructure de votre établissement ?).

L'appréciation des entreprises sur l'accessibilité de l'aéroport ne semble pas avoir d'influence sensible sur le choix modal, en revanche l'accessibilité du port maritime est liée à un usage intensif du transport par mer ; à moins que la relation ne soit inverse : les établissements qui ont beaucoup besoin du transport maritime s'implantent à proximité des ports.

10 question e20 du questionnaire établissement
11 question e21.

Tableau 8 : Parts des modes à l'exportation selon l'accessibilité des infrastructures

	Nbre d'obs.	% tonnes Air	% tonnes Mer	%Mer / %Air
Aéroport accessible	108	5.7	7.5	1.3
Aéroport non accessible	58	1.1	2.5	2.3
<i>Accesib. aéroport non renseignée</i>	28	0.5	8.9	18
Port maritimes accessible	30	5.6	18.5	3.3
Port non accessible	77	4.0	4.3	1.1
<i>Accessibilité du port non renseignée</i>	87	2.6	3.7	1.4
Ensemble	194	3.6	6.2	1.7

L'influence de la distance des établissements aux infrastructures a été testée au moyen de régressions linéaires dans lesquelles la part d'un mode est la variable à expliquer et la distance la variable explicative. La distance au port maritime semble légèrement favorable à un usage plus intensif du transport par mer et défavorable au transport aérien mais, dans tous les cas, les coefficients sont loins d'être significatifs.

3.2 : Modélisation du choix air – mer par envoi

Nous raisonnons à présent au niveau de l'envoi et nous disposons donc d'autres variables explicatives : en plus des variables de niveau établissement, analysées dans la première partie de ce chapitre, nous disposons de toutes les questions relatives à l'envoi et des variables prix, temps et poids de l'envoi estimées pour le mode alternatif au chapitre deux. Nous considérons que ces quatre variables (prix et temps pour chaque alternative) sont, en règle générale, les principales variables prises en compte dans le choix du mode. Un modèle de choix modal doit donc rendre compte de ces effets prix et temps avec des coefficients de signe convenable et si possible avec des paramètres significatifs. Nous commençons par un modèle logit pour les variables 'prix' et 'temps de l'envoi' estimées au chapitre précédent, dans lequel nous tenterons ensuite d'introduire de nouvelles variables. Puis nous tenterons d'apprécier ce qu'apporte cette modélisation simultanée du choix du mode et du poids de l'envoi en comparant ce modèle à un modèle dans lequel le poids de l'envoi est identique quel que soit le mode choisi. Enfin nous comparons les modèles logit et probit. Le logiciel statistique utilisé est Eview version 4.

3.2.1 Modèle logit

La variable à expliquer est la probabilité que l'envoi ait été transporté par mer plutôt que par air. Les variables explicatives sont ici les prix de transport en Euros par kilogramme transporté, ainsi que les temps de transport de porte à porte en jours, respectivement par mer et par air. Pour chacune de ces variables, le logiciel estime un coefficient dont le signe indique si la variable dépendante varie dans le même sens (signe positif) ou dans le sens opposé (négatif) de la variable explicative ; la dernière colonne du tableau indique la probabilité que cette variable n'aie aucune influence sur la variable dépendante. Les résultats complets de l'estimation sont donnés en annexe.

Avec poids d'envoi variable et prix estimé par tonnage exporté total

Tableau 9 : les coefficients du modèle logit prix-temps pour le choix modal air-mer

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	5.308148	1.393650	3.808809	0.0001
PrixTrMer1	-7.780717	1.649327	-4.717510	0.0000
TempsMer	-0.037421	0.034042	-1.099252	0.2717
PrixTrAir1	0.560503	0.149485	3.749551	0.0002
TempsAir	0.079254	0.057127	1.387326	0.1653

L'estimation porte sur 120 observations (38 aériennes et 82 maritimes) ; on constate que les coefficients ont le signe attendu :

négatifs pour les caractéristiques de la chaîne maritime, qui indiquent que plus le prix ou le temps maritime augmente et plus la probabilité d'avoir recours à cette chaîne diminue ;

positifs pour les caractéristiques des chaînes aériennes : plus le prix ou le temps aérien augmente et plus la probabilité d'avoir recours à la chaîne maritime augmente.

Mais les coefficients du temps ne sont pas significatifs au seuil de 5 % (27 % pour le temps maritime et 17 % pour le temps aérien).

Avec poids d'envoi estimé et prix estimé par tonnage exporté par air ou mer

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	5.995990	2.049221	2.925985	0.0034
PrixTrMer2	-8.004916	2.322165	-3.447177	0.0006
TempsMer	-0.039761	0.039771	-0.999730	0.3174
PrixTrAir2	0.212255	0.210926	1.006298	0.3143
TempsAir	0.094915	0.065254	1.454561	0.1458

L'estimation porte sur 69 observations seulement (24 aériennes et 45 maritimes) ; les autres observations ont été supprimées car la variable nécessaire pour estimer le prix était manquante. Là encore les coefficients ont le signe attendu mais ils sont encore plus faiblement significatifs que dans le modèle précédent.

Avec poids d'envoi constant et prix estimé par tonnage exporté total

Dans les deux modèles ci-dessous, on garde le même poids d'envoi pour le mode alternatif que sur le mode observé. Il en résulte en particulier que le prix de transport estimé pour le mode alternatif est différent de ce qu'il était précédemment.

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-1.139830	0.859230	-1.326572	0.1847
PrixTrMer1	-0.000167	0.000453	-0.369092	0.7121
TempsMer	-0.020004	0.027763	-0.720536	0.4712
PrixTrAir1	0.004116	0.001151	3.575451	0.0003
TempsAir	0.070911	0.069858	1.015073	0.3101

L'estimation porte à nouveau sur 120 observations (38 aériennes et 82 maritimes) mais les coefficients, même s'ils gardent le signe attendu, ne sont plus du tout significatifs, non seulement pour le temps mais aussi pour le prix maritime.

Avec poids d'envoi constant et prix estimé par tonnage exporté par air ou mer

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.832522	0.864037	2.120883	0.0339
PrixTrMer2	-0.532884	0.688816	-0.773624	0.4392
TempsMer	0.001912	0.026452	0.072276	0.9424
PrixTrAir2	-0.394082	0.248278	-1.587261	0.1125
TempsAir	-0.000350	0.057141	-0.006119	0.9951

L'estimation porte à nouveau sur 69 observations seulement ; les coefficients des variables caractéristiques des chaînes aériennes ont un signe négatifs alors qu'ils devraient être positifs et aucun des coefficients n'est significatif.

Comparaisons entre les modèles à poids constant et à poids variable

Le tableau ci-dessous compare les paramètres des modèles 'à poids variables' et 'à poids constant', calibrés avec des prix de transport estimés selon la première méthode d'une part et donc sur 120 observations puis avec les prix estimés selon la deuxième méthode, et le calibrage ne porte alors que sur 69 observations. On vérifie que, dans l'un et l'autre cas, la qualité statistique du modèle est nettement supérieure lorsqu'on simule en même temps le choix du mode et du poids.

Tableau 10 : Comparaisons entre les modèles à poids constant et à poids variable

Variable	Prix1 (120 observations)				Prix2 (69 observations)			
	Poids variable		Poids constant		Poids variable		Poids constant	
	Coeff.	Prob.	Coeff.	Prob.	Coeff.	Prob.	Coeff.	Prob.
C	5.308	0.0001	-1.140	0.1847	5.996	0.0034	1.833	0.0339
PrixTrMer1	-7.781	0.0000	-0.0002	0.7121	-8.005	0.0006	-0.533	0.4392
TempsMer	-0.0374	0.2717	-0.0200	0.4712	-0.0398	0.3174	0.0019	0.9424
PrixTrAir1	0.5605	0.0002	0.0041	0.0003	0.2123	0.3143	-0.394	0.1125
TempsAir	0.0793	0.1653	0.0709	0.3101	0.0949	0.1458	-0.0004	0.9951
Sum squared resid	8.100076		14.88928		4.801313		10.81424	
Log likelihood	-25.38462		-47.5472		-15.63849		-33.64595	
McFadden R-squared	0.661176		0.365358		.0649206		0.245272	

Dans le modèle 'à poids constant', les coefficients des variables Prix et Temps ne sont pas significatifs et les différents critères qui rendent compte de la qualité indiquent un meilleur ajustement avec le poids estimé : la somme des carrés des résidus est nettement supérieure dans les modèles 'à poids constant', la log-vraisemblance est supérieure et le R2 de Mc Fadden est inférieur. Soulignons que nous avons testé de nombreuses formules d'estimation des variables prix et temps du mode alternatif ; dans tous les cas le résultat du modèle 'à poids constant' est nettement moins satisfaisant que le modèle 'à poids fonction du mode'.

Enfin nous verrons au chapitre suivant que les principaux ratios caractéristiques, tels que les élasticités ou la valeur du temps sont proches pour les deux types de modèles.

3.2.3 Impact des variables autres que prix et temps sur le choix modal

De nombreuses variables ont une influence statistiquement significative sur le choix modal air / mer quand on les considère isolément. On vérifie en particulier que les variables qui se sont révélées intéressantes pour expliquer le choix modal global de l'établissement ou son choix modal en matière d'exportations, sont également importantes pour expliquer la probabilité d'un envoi de se retrouver sur l'un ou l'autre mode. Puis, au niveau de l'envoi, on vérifie également que de nombreuses caractéristiques contribuent à expliquer le choix modal.

Impact des variables prises isolément

Variable	coefficient	Prob.	S carrés des résidus	Log-vraissemb.	Mc Fadden R2
% du tonnage total expédié par air	-0.07363	0.0005	22.43	-67.22	0.15
% du tonnage total expédié par Mer	0.01897	0.067	26.55	-77.23	0.02
Tonnage annuel expédié (log)	0.456	0.000	22.18	-66.97	0.17
Nombre annuel d'envois expédiés					
Tonnage annuel exporté (log)	0.333	0.000	23.68	-70.00	0.13
% d'envois de moins de 3 tonnes	-2.170	0.016	23.56	-67.90	0.09
Distance à l'aéroport	-0.02135	0.006	22.66	-66.00	0.07

Dans le modèle suivant nous avons tenté d'ajouter d'autres variables explicatives, en plus des prix et temps des deux alternatives. Ce sont les variables les plus explicatives de la répartition modale : la valeur de la marchandise (euros / kg, en log), le poids de l'envoi en kg (en log) et le nombre annuel d'envois (en log).

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.951326	7.369928	0.264769	0.7912
PrixTrMer1	-6.600332	3.164088	-2.086014	0.0370
TempsMer	-0.034994	0.070745	-0.494660	0.6208
PrixTrAir1	0.768194	0.289908	2.649788	0.0081
TempsAir	0.075363	0.072787	1.035389	0.3005
Valeur (euros / kg)	-0.516489	0.475380	-1.086476	0.2773
Log (poids)	0.965357	0.524701	1.839823	0.0658
Log (Nb d'envois annuel)	-0.366276	0.411768	-0.889520	0.3737

L'estimation porte sur 100 observations seulement (34 aériennes et 66 maritimes) ; les autres observations ont été supprimées en raison de l'absence de l'une des variables introduites. Les coefficients des prix et temps ont le signe attendu mais les coefficients de temps ne sont plus significatifs. L'introduction de nouvelles variables a fait baisser significativement la qualité des paramètres des anciennes variables.

La comparaison de ces résultats des modèles logit montre tout d'abord que la qualité du modèle est bien meilleure si le poids de l'envoi est estimé en fonction du mode de transport que s'il est supposé constant (identique pour la chaîne maritime et la chaîne aérienne).

D'autre part, la méthode d'estimation des prix et temps de l'autre alternative a une influence sur le résultat de la modélisation mais, dans le cas présent où un certain nombre de variables sont manquantes, le fait de perfectionner cette estimation en ajoutant d'autres variables

explicatives aux prix et temps a pour conséquence d'éliminer une proportion non négligeable d'observations, ce qui ne contribue pas à améliorer le modèle.

3.2.4 Modèle probit

Tableau 11 : Comparaisons entre les modèles logit et probit, modèles à poids variable

Résultats du modèle	probit		logit (rappel)	
Variable	Coefficient	Prob.	Coefficient	Prob.
C	3.038169	0.0000	5.308148	0.0001
PrixTrMer1	-4.428778	0.0000	-7.780717	0.0000
TempsMer	-0.022727	0.2147	-0.037421	0.2717
PrixTrAir1	0.316944	0.0001	0.560503	0.0002
TempsAir	0.051396	0.1242	0.079254	0.1653
Somme des carrés des résidus	8.096072		8.100076	
McFadden R-squared	0.666807		0.661176	

Comparé au modèle logit, le modèle probit donne des résultats légèrement différents dans la valeur des paramètres mais extrêmement proches sur la qualité du modèle, tant pour les valeurs globales comme la somme des carrés des résidus que pour la probabilité des estimateurs : dans les deux cas les coefficients de temps ne sont pas significatifs au seuil de 5%.

Tableau 12 : Comparaisons entre les modèles logit et probit, modèle à poids constant

Variable	probit		logit (rappel)	
Variable	Coefficient	Prob.	Coefficient	Prob.
C	-0.516824	0.2971	-1.139830	0.1847
PrixTrMer1	-8.57E-05	0.6623	-0.000167	0.7121
TempsMer	-0.013998	0.3671	-0.020004	0.4712
PrixTrAir1	0.002107	0.0001	0.004116	0.0003
TempsAir	0.039917	0.1625	0.070911	0.3101
Somme des carrés des résidus	15.33205		14.88928	
McFadden R-squared	0.353751		0.365358	

La qualité générale de ces modèles est moins bonne que celle des précédents et, là encore, celle du modèle probit est très proche de celle du modèle logit, pour les indicateurs globaux (somme des carrés des résidus) et pour la probabilité des estimateurs.

CHAPITRE 4 : ELASTICITES, VALEURS DU TEMPS ET COMPARAISON AVEC LES TRAVAUX ANTERIEURS

Deux paramètres simples permettent de synthétiser l'influence des principales variables sur le choix modal : la valeur du temps et les élasticités. Dans ce chapitre nous estimons ces paramètres pour différentes variantes du modèle présentés au chapitre précédent et nous les comparons avec ceux de travaux publiés sur des modèles désagrégés de choix modal en transport de marchandises.

4.1 Valeur du temps

La valeur du temps dans les modèles désagrégés

La valeur du temps est définie comme l'augmentation du coût de transport supplémentaire que le chargeur accepte de payer pour gagner une heure de temps de trajet. Avec le modèle de choix modal, si U représente la fonction d'utilité, la valeur du temps est calculée par le ratio de substitution entre le temps et le coût sous l'hypothèse de constance de l'utilité comme indique la formule suivante :

$$VDT = \frac{dC}{dT} = \frac{\frac{\partial U}{\partial T}}{\frac{\partial U}{\partial C}}$$

Si l'on suppose que la fonction d'utilité est linéaire et si les caractéristiques considérées ne sont que le temps et le coût de transport :

$$U = \alpha_0 + \alpha T + \beta C$$

Selon la formule précédente, la valeur du temps peut être estimée :

$$VDT = \alpha / \beta$$

Cela veut dire qu'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. Comme la valeur du temps est mesurée par le ratio entre les coefficients de temps et de coût estimé à partir du modèle, elle dépend forcément de la spécification du modèle et des données utilisées.

Particulièrement importante dans le cas du choix entre transport aérien et maritime, la valeur du temps est étroitement liée à l'organisation logistique du chargeur. Après avoir apprécié les valeurs du temps des envois aériens et maritimes, nous les comparerons, à défaut de publications traitant des mêmes modes, avec les valeurs rencontrées dans la littérature pour les modes terrestres.

Tableau 13 : Valeurs du temps estimées avec le modèle logit

Prix de transport estimé avec :	avec le volume annuel vers ce destinataire et le tonnage exporté total			volume annuel destinataire et tonnage exporté par air/mer	
pois de l'envoi :	<i>selon le mode</i>		<i>identique</i>	<i>selon le mode</i>	
<i>Nbre de variables du modèle :</i>	4	7	4	4	7
Nombre d'obs :	120	100	120	69	60
Valeurs des coefficients du modèle pour chaque variable					
PRIXMER	-7,78072	-6,60033	-0,000167	-8,004916	-2,352937
TEMPSMER	-0,03742	-0,03499	-0,020004	-0,039761	-0,066458
PRIXAIR	0,560503	0,768194	0,004116	0,212255	0,272646
TEMPSAIR	0,079254	0,075363	0,070911	0,094915	0,023267
Log (VALEUR)		-0,51649			-0,197038
Log (Tonnage)		0,965357			1,148121
Log(Nb Envois)		-0,36628			-0,35097
Valeur du temps en euros par tonne et par jour					
Vdt Mer (e / t. / j.)	4,8	5,3	6.0	5.0	28,2
Vdt Air (e / t. / j.)	141,4	98,1	34,5	447,2	85,3
Rapport Valeur du temps Air / Valeur du temps Mer					
VdTair / VdTmer	29.5	18.5	5.8	89.4	3.0

Les valeurs du temps sont très sensibles aux hypothèses et valeurs retenues pour construire le modèle. Il apparaît en particulier

que le modèle 'à poids d'envoi identique pour les deux modes' restitue les valeurs du temps les moins différentes entre les deux modes : le rapport est de $34.5 / 6.0 = 5.8$ entre les valeurs du temps des frets aérien et maritime, alors qu'il varie entre 18 et 29 dans les deux autres modèles construits avec la même estimation du prix de transport mais avec un poids différent pour le mode alternatif. En ne prenant pas en compte la modification du poids de l'envoi qui résulterait du choix d'un autre mode, on ne rend pas compte en totalité de la spécificité des envois qui ont recours à l'un ou à l'autre mode.

Que le fait d'ajouter des variables au modèle tend à réduire l'écart entre les valeurs du temps aérienne et maritime : prendre en compte l'influence d'autres variables conduit à minimiser l'influence des variables prix et temps et conduit donc à un moindre écart entre les valeurs du temps estimées pour ces deux modes.

Tableau 14 : Valeurs du temps estimées par les modèle Probit et comparaison avec les valeurs logit

Prix de transport estimé avec :	avec le volume annuel vers ce destinataire et le tonnage exporté total			volume annuel destinataire et tonnage exporté par air/mer		
pois de l'envoi :	<i>selon le mode</i>		<i>identique</i>	<i>selon le mode</i>		
<i>Nbre de variables :</i>	4	7	4	4	7	
Nombre d'observations :	120	100	120	69	60	
Logit	Vdt Mer	4,8	5,3	6,0	5,0	28,2
	Vdt Air	141,4	98,1	34,5	447,2	85,3
	Air/Mer	29,5	18,5	5,8	89,4	3,0
Probit	Vdt Mer	5,1	9,2	8,2	5,2	32,0
	Vdt Air	162,2	114,7	37,9	408,9	118,8
	Air/Mer	31,8	12,5	4,6	78,6	3,7

Les valeurs du temps estimées à partir des modèles probit sont généralement légèrement supérieures à celles estimées avec le modèle logit pour chaque type de mode (dans chaque colonne). Mais cet écart est très faible et surtout les rapports entre les valeurs du temps aériennes et maritimes sont à peu près respectés.

Si l'on se limite aux modèles 'à poids variables' calés sur un nombre d'observations au moins égal à 100, les valeurs du temps sont comprises entre 5 et 9 euros par tonne et par jour pour le fret maritime et entre 98 et 162 euros pour le fret aérien.

Comparaison avec les résultats de travaux antérieurs

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature d'évaluation comparable des valeurs du temps pour le fret maritime ou aérien. Le seul article qui traite directement du choix modal air / mer pour le fret (Hayuth 1985) mentionne bien la valeur des marchandises transportées comme l'une des variables les plus discriminantes pour le choix modal¹² mais il n'analyse pas la valeur du temps de ces marchandises. Pour les autres modes de transport, il existe en revanche de nombreuses estimations de la valeur du temps du fret, obtenues avec des méthodes proches de celles que nous avons utilisées ici et que le tableau ci-dessous nous permet de comparer.

Des valeurs du temps ont été calculées par F. Jiang (2001) à partir des données d'une enquête de même type réalisée en région Nord-Pas-de-Calais la même année¹³ variée, selon le modèle retenu,

- entre 35 et 50 (42 en moyenne) euros par tonnes et par jour pour le fret routier,
- entre 0,4 et 26 (15 en moyenne) pour le fret ferroviaire en wagons
- entre 0,002 et 0,17 (0,1 en moyenne) pour le fret ferroviaire en trains complets et
- entre 4,8 et 6,6 (6 en moyenne) pour le fret en transport combiné rail-route.

Le tableau suivant reprend ces valeurs du temps et les compare à celle rapportées par de Jong (2000) qui ont été calculées le plus souvent avec des données 'en préférences déclarées'.

Tableau 15: Valeurs du temps en euros par tonne par jour

Etude	données	Route	Train	rail-route
Jiang (2001) sur NPDC	RP	42	0.1	5.9
Modèle mode choisi 1	SP	252	-	5.8
Modèle mode choisi 2	SP	70	-	7.2
Modèle mode alternatif	SP	219	20.5	6.4
Modèle joint SP/RP	SP/RP	127	6.2	
Etude Pays-Bas 1992	SP	1102	22.7	
Etude Royaume-Uni 1995	SP	922-1230		
Etude Danemark 1996	SP	794-1819		
Etude Danemark-Allemagne 1999	SP/RP	538		
Etude Norvège 1994 – Données SP	SP	179		
Etude Suède 1992– Données SP	SP	179	0.8	
Etude Suède 1997– Données SP	SP	77-179		
Etude Etas-Unis 1992	SP/RP			

12 : dans les échanges de marchandises entre les Etats-Unis et Israël, plus de 80 % du fret aérien a une valeur supérieure ou égale à 10000 \$ par tonne et plus de 80 % du fret maritime a une valeur inférieure à 2000 \$ par tonne.

13 : Pour une description de l'enquête et de ses résultats généraux, cf. Guilbault, Piozin et Rizet 2000.

Etude Royaume-Uni 1991	SP			
------------------------	----	--	--	--

Les valeurs du temps sont extrêmement variables : pour la route elles vont de 42 à près de 2000 euros par tonne et par jour. Nos propres valeurs pour le fret aérien, comprises entre 98 et 162 euros par tonne et par jour se situent dans cette fourchette des valeurs européennes du fret routier. Pour le fret maritime, nos valeurs du temps sont comprises entre 5 et 9 euros par tonne et par jour : elles sont comparables à celles du fret ferroviaire en wagons ou en transport combiné.

4.2 Elasticités

Rappel sur les élasticités simples et croisées

Pour analyser les effets des variables sur les probabilités de choix, un moyen utilisé très souvent est d'estimer les élasticités. L'élasticité représente la réponse de la probabilité de choix au changement marginal de la variable explicative (augmenter ou diminuer 1%).

Pour le modèle logit, l'élasticité directe est donnée par l'expression suivante :

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

Où β_{ik} représente le coefficient de la variable X_{ik} et P_i désigne $\text{Prob}(y=i)$.

Le temps et le prix de transport constituent des variables explicatives dites spécifiques aux alternatives. Pour un même chargeur, ces variables prennent des valeurs différentes suivant l'alternative choisie. Ainsi un changement d'une variable de l'alternative i va influencer non seulement la probabilité de choisir cette alternative mais aussi la probabilité de choisir les autres alternatives. Ainsi, l'élasticité croisée de la probabilité de choisir l'alternative i par rapport l'alternative j est définie et calculée comme :

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

Elasticités du choix air - mer

Les élasticités simples et croisées de la probabilité de choix aux prix de transport estimées avec les modèles développés au chapitre précédent sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 16 : élasticités prix de la probabilité de choisir l'un ou l'autre mode

	Prix estimé avec	poids de l'envoi	Elasticités		nombre d'obs.
			mer	air	
	tonnage exporté total	selon mode	-0,33	3,35	120
Prix Mer	tonnage exporté total	constant	-0,08	0,36	120
	tonnage exporté/mode	selon mode	-0,22	3,66	69
	tonnage exporté total	selon mode	0,27	-2,81	120

Prix Air	tonnage exporté total	constant	0,19	-0,88	120
	tonnage exporté/mode	selon mode	0,07	-1,09	69

On observe dans ce tableau que les élasticités simples (de la probabilité de choisir le maritime en fonction d'une variation du prix de transport maritime ou de l'aérien au prix du transport aérien) sont beaucoup plus importantes dans les modèles 'à poids de l'envoi variables selon le mode que dans les modèles à poids constant : 3 à 4 fois plus pour les élasticités maritimes et 1,4 à 3 fois plus pour l'aérien.

Les élasticités croisées de la demande de transport aérien en fonction du prix maritime ont des valeurs élevées pour les modèles 'à poids variables' (3,35 pour le modèle calibré sur 120 observations et 3,66 pour le modèle où le prix de transport est estimé sur 69 observations seulement).

Comparaison avec les résultats de travaux antérieurs

Kenneth Small et Clifford Winston (1999) trouvent, parmi les travaux publiés, des élasticités simples au prix de transport comprises entre -0,08 et -0,68. Les élasticités simples au prix rassemblées par Abdelwahab (1998) sont nettement plus importantes en valeur absolue. Elles sont récapitulées au tableau 17.

Tableau 17 : Récapitulation des élasticités simples au prix de transport dans différents modèles de répartition modale fer – route

Etude	pays	Type de marchandises	Type de modèle	Elasticités au prix	
				Route	Fer
Oum (1980)	Canada	Métallurgie	agrégé	-0,994	-1,238
Friedlander & al. (1980)	international	Production d'acier	agrégé	-1,091	-2,784
Chiang & al. (1981)	USA	Engrais	Agrégé, poids estimé	-1,143	-1,045
Winston (1981)	USA	Métallurgie	Probit, poids estimé	-0,18	-0,019
Kim j. (1984)	international	Métallurgie	Logit	-0,775	-0,863
Abdelwahab (1998)	international	Métallurgie	Logit, poids estimé	-0,797	-0,908

D'après Abdelwahab (1998)

Les élasticités au prix de transport estimées dans cet exercice, sont relativement faible pour la voie maritime, qu'il s'agisse de l'élasticité (simple) de la demande maritime aux prix maritime (entre -0.1 et -0.3) ou de l'élasticité (croisée) au prix du transport aérien (entre 0.1 et 0.3). En revanche les élasticités de la demande de transport aérien sont beaucoup plus élevées, aussi bien l'élasticité simple au prix du fret aérien (-2,8) que l'élasticité croisée au prix du transport maritime (3,3). Ces élasticités de la demande aérienne paraissent élevées au regard des élasticités publiées pour les modes terrestres : une partie au moins de l'explication est liée au fait que la majorité des envois passent par la voie maritime et un tiers seulement, dans notre échantillon, passe par l'aérien. Une augmentation du prix maritime entraîne une faible diminution de la demande pour ce mode mais celle ci se reporte sur l'aérien et entraîne une augmentation, beaucoup plus importante relativement, vers ce mode.

CONCLUSION

Cet exercice avait un double objectif : tester la possibilité d'appliquer un modèle de choix modal aux envois intercontinentaux pour simuler le choix entre les voies maritime et aérienne et, d'autre part, tenter d'améliorer la forme habituelle des modèles de choix modal désagrégés, notamment en modélisant simultanément le choix du mode et celui du poids de l'envoi. Dans cette conclusion nous examinerons donc successivement dans quelle mesure nous avons pu atteindre ces deux objectifs.

Sur la modélisation du choix du mode aérien pour les envois intercontinentaux

Les données dont nous disposons pour cet exercice étaient en nombre limité cependant le contraste très fort entre maritime et aérien nous a permis de calibrer un modèle avec toutefois une faible précision. Ce contraste important entre les deux modes est l'une des raisons pour lesquelles nous avons retenu les envois intercontinentaux pour tester l'intérêt de modéliser le choix du poids de l'envoi, malgré le faible nombre d'observations.

Les élasticités au prix de transport sont relativement faible pour la voie maritime, qu'il s'agisse de l'élasticité (simple) de la demande maritime aux prix maritime (entre -0.1 et -0.3) ou de l'élasticité (croisée) au prix du transport aérien (entre 0.1 et 0.3). En revanche les élasticités de la demande de transport aérien sont beaucoup plus élevées, au prix du fret aérien ou même au prix maritime. Ceci s'explique par le fait que la majorité des envois passent par la voie maritime et un tiers seulement (dans notre échantillon) passe par l'aérien.

Les valeurs du temps estimées à partir de ces modèles sont comprise entre 5 et 9 euros par tonne et par jour pour le fret maritime, ce qui est comparable aux valeurs trouvées dans d'autres travaux pour le fret ferroviaire ou le transport combiné. Pour le fret aérien, les valeurs du temps qui résultent de nos modèles sont comprises entre 98 et 162 euros par tonne et par jour, ce qui semble faible par rapport aux valeurs trouvées par d'autre travaux pour le fret routier (entre 42 et 2000 euros par tonne et par jour).

Sur la forme et les qualité du modèle désagrégé

La principale conclusion de ce travail est que l'estimation simultanée du poids de l'envoi et du mode de transport améliore significativement la qualité du modèle : quelle que soit la forme du modèle retenu, logit ou probit, le modèle 'à poids variable selon le mode' donne une meilleure estimation pour chacun des critères que le modèle 'à poids constant'.

La nécessité d'estimer l'offre alternative, à défaut de disposer d'un modèle d'offre, constitue l'une des difficultés majeure de l'exercice. La qualité du modèle est sensible aux valeurs estimées des variables prix et de temps. Il est possible d'améliorer la qualité de l'estimation de ces variables de l'offre alternative en augmentant le nombre des variables explicatives : par exemple on améliore la qualité de l'estimation du prix lorsqu'on tient compte du volume de fret que ce chargeur fait transporter annuellement par ce mode et qui détermine le pouvoir de négociation de ce chargeur vis à vis de ce mode. Mais, ce faisant, on perd un grand nombre

d'observations pour lesquelles cette variable n'est pas renseignée et, de ce fait, la qualité finale du modèle n'est pas nécessairement améliorée..

Pistes de recherches

Le faible nombre d'observations ne nous a pas permis de prendre en compte la nature des marchandises transportées. Pour améliorer la qualité du modèle, il serait en particulier souhaitable d'introduire des précisions sur la nature de la marchandise transportée (périssable ou non) et d'estimer l'offre alternative en tenant compte des différents maillons de la chaîne et des infrastructures existantes.

Références

Abdelwahab et Sargious (1992) : Modeling the demand for freight transport : new approach ; journal of transport economics and Policy 26 n°1, pp 49-70

Abdelwahab (1998) : Elasticities of mode choice probabilities and market elasticities – Evidence from a simultaneous mode choice/shipment size freight transport model ; Transportation research part E Logistics and transportation review 34 n°4 pp 257-266.

Beute, Jourquin, Geerts, Koul, & Ha (2001) : Freight transportation demand elasticities : a geographic multimodal transportation network analysis, in Transportation Reserch part E vol 37 pp 253-266.

Baumol, W. J. and H.D. Vinod (1970) "An inventory-Theoretic model of freight transport behaviour", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. XXII, 1, 71-92.

Bergkvist, E and L. Westin (2000): *Regional Valuation of Infrastructure and Transport Attributes in Swedish Road Freight*, Umeå Economic Studies No. 546

Bergkvist, E. (2000): *Estimating values of time and forecasting transport choices in road freight with a non-linear profit specification. The logit versus neural networks*. Umeå Economic Studies, No. 540

Bergkvist, Erik (2001): *Freight Transportation; Valuation of Time and Forecasting of Flows*, Umeå Economic Studies, No. 549

Blauwens, G. and E. van de Voorde (1988): The valuation of time savings in commodity transport, *International Journal of Transport Economics*, 15:77-87

Boyer, K.D. (1977) "Minimum rate regulation, modal split sensitivities, and the railroad problem" *Journal of Political Economy*, 85, 493-512.

Chiang, Roberts & Ben-Akiva (1981) : Development of a policy sensitive model for forecastibng freight demand – final report ; DOT Report DOT P 30 81 04 Washington..

Collectif (à paraître) : Mystic-WP6 Toward Origin Destiantion Matrices for Europe ; EC 4th PCRD, 310 p.

Gouvernal et Hanappe (1995) : La formation des prix dans le transport de marchandises, Rapport Inrets n° 195, 1995.

Guilbault, Piozin & Rizet (2000) : Préparation d'une nouvelle enquête auprès des chargeurs : Résultats de l'enquête test Nord-Pas-de-Calais, Inrets – Prédit (Convention DTT n°690-9819), 137 p.

- Hivert L. (1989) : Modélisation de la demande de transport, présentation critique de l'outil désagrégé ; mémoire pour le DEA de recherche opérationnelle Paris VI, 124 p.
- Hayuth & Yehuda (1985) : Freight Modal-Split Analysis of Air and Sea Transportation, *Logistics and Transportation Review*, Volume 21, Issue 4, Dec. 1985, Pages 389-402
- Jiang F. (1998): choix modal et système logistique en transport de marchandises, thèse pour le Doctorat de l'ENPC, option Transport, 212 p. + annexes
- Jiang, Calzada et Jonhson (1999) : Freight demand characteristics and mode choice: an analysis of the results of modeling with disaggregate revealed preference data; *Journal of transportation and statistics*; Vol. 2, No. 2, pp 149-159.
- Jiang F. (2001) : Valeurs du temps de transport de marchandises dans la Région Nord – Pas-de-Calais avec données RP ; Nestear SES 18 p.
- De-Jong G, Gommers M.A., Klooster J. (1992): *Time valuation in freight transport: Methods and results*, Paper presented at the XXth Summer Annual Meeting, PTRC, Manchester.
- De-Jong G., de Vyvere Y., Inwood H. (1995): *The value of freight transport: A cross-country comparison of outcomes*. World Conference on Transport Research, Sydney.
- De-Jong G., Vellay C., Houée M. (2001): *A Joint SP/RP Model of Freight Shipments from the Region Nord-Pas de Calais*, Paper presented at the European Transport Conference.
- De-Jong G. de (2000): Value of freight travel time savings, in Hensher, D.A. and Button, K.J. (Eds): *Handbook of transport modeling*; Elsevier Science, Amsterdam.
- Fosgerau, M. (1996) "Freight traffic on the Storebækt fixed link", PRTC, London.
- Fosgerau, M. (1996): *Freight traffic on Storebælt fixed link*, Paper presented at the 24th European Transport Forum.
- Fowkes T., Nash, C.A. and Tweddle, G. (1992) "Harmonizing heavy goods vehicle taxes in Europe: A British view", *Transport Reviews*, 12 (3).
- Fowkes, A.S., C.A. Nash and G. Tweedle (1991): Investigating the market for inter-modal freight technologies, *Transportation Research, A*, 25(4):161-172.
- Fowkes, A.S., P.E. Firmin, A.E. Whiting and G. Tweedle (2001): *Freight Road User Valuations of Three Different Aspects of Delay*, paper presented and the European Transport Forum.
- Fowkes, T., Nash, C.A. and Tweddle, G. (1991) "Investigating the market for inter-modal freight technologies", *Transportation Research: Part A*, 25A (4) 161-172.
- Gouernal, Hanappe (195) : La formation des prix dans le transport de marchandises, Rapport Inrets n° 195, 60 p.

Kawamura, Kazuya (2000): Perceived Value of Time for Truck Operators, *Transportation Research Record*, 1725:31-36.

Small K, Winston C. (1999) : The Demand for Transportation: Models and Applications, in Essays in Transportation, Economics and Policy, Brookings Institute.

Kurri, Jari, Ari Sirkiä, Juha Mikola (2000). Value of Time in Freight Transport, *Transportation Research Record* 1725:26-30

McFadden, D.L., C. Winston and A. Boersch-Supan (1985): Joint estimation of freight transportation decisions under non-random sampling, in E.F. Daughety (ed.): *Analytical studies in transport economics*,

Meijeren & Tardieu (2000): Modelling the modal split based on the MYSTIC shipper survey results ; CONCERTO plenary CAC meeting on information systems; NEA transport research and planning.

Morellet & Julien (1990) : Matisse, un modèle intégrant étroitement induction et partage modal du trafic, Rapport Inrets n° 129.139 p.

Morellet & Marchal (1995) : MATISSE : un modèle de trafic intégrant étroitement contexte socio-économique et offre de transport, RR Inrets n° 203, 100 p.

Rand Europe (2001) : Analyse conjointe SP/RP du choix du mode de transport de marchandises dans la Région Nord – Pas-de-Calais, SES 54 p.

Rizet, Gwét (1998) : Une comparaison internationale des prix du camionnage, in RTS n°60, pp. 69, 88.

Rizet, Guilbault, Meijeren, Bijster, Houée (2001) : Tracking along the transport chain via the shipper survey, International Conference on Transport Survey Quality and Innovation, 20 p.

Wardman, M. (1988) “A comparison of revealed and stated preference models of travel

Widlert, S. and Bradley, M. (1992) “Preferences for freight services in Sweden”, WCTR, Lyon.

Wigan, Marcus, Nigel Rockliffe, Thorolf Thoresen and Dimitris Tsolakis (2000): Valuing Long-Haul and Metropolitan Travel Time and Reliability, *Journal of Transportation and Statistics*, December:83-89..24

Winston, C. (1981): A disaggregate model of the demand for intercity freight, *Econometrica*, 49: 981-1006, 1981

Winston, C.M. (1981) "A disaggregate model of the demand for intercity freight transportation" *Econometrica* 49, 981-1006.

Wynter, L.M. (1995): The Value of Time of Freight Transport in France; Estimation of Continuously Distributed Values from a Stated Preference Survey, *International Journal of Transport Economics*, 22:151-65.

ANNEXES

ANNEXE 1 : nombre d'observations par destination et par mode

ANNEXE 2 : Estimation des caractéristiques du mode alternatif

ANNEXE 3 : Résultats des modélisations

ANNEXE 1 : nombre d'observations par destination et par mode

TABLE OF FDCONTRY BY CHPHY1

FDCONTRY(Final delivery country)	CHPHY1(Physical chain)		Total
	,maritime, chain	,aerian c, hain	
COREE DU SUD	, 4 ,	0 ,	4
JAPON	, 4 ,	3 ,	7
MAROC	, 3 ,	3 ,	6
ETATS UNIS	, 11 ,	4 ,	15
CANADA	, 5 ,	0 ,	5
TAIWAN	, 4 ,	0 ,	4
AFRIQUE DU SUD	, 2 ,	1 ,	3
AUSTRALIE	, 2 ,	1 ,	3
BRESIL	, 4 ,	0 ,	4
ALGERIE	, 5 ,	0 ,	5
MARTINIQUE	, 1 ,	0 ,	1
COTE D-IVOIRE	, 3 ,	2 ,	5
Mexique	, 1 ,	0 ,	1
COLOMBIE	, 0 ,	1 ,	1
EMIRATS ARABES U	, 1 ,	1 ,	2
HONG KONG	, 2 ,	1 ,	3
EGYPTE	, 1 ,	1 ,	2
ISRAEL	, 0 ,	1 ,	1
ARGENTINE	, 7 ,	0 ,	7
SENEGAL	, 2 ,	0 ,	2
CAMEROUN	, 0 ,	4 ,	4
GABON	, 2 ,	0 ,	2
TUNISIE	, 4 ,	1 ,	5
NIGER	, 1 ,	0 ,	1
SINGAPOUR	, 1 ,	0 ,	1
ARABIE SAOUDITE	, 1 ,	0 ,	1
LIBAN	, 2 ,	1 ,	3
INDE	, 5 ,	2 ,	7
VIET NAM	, 2 ,	0 ,	2
CHILI	, 0 ,	1 ,	1
REUNION	, 2 ,	1 ,	3
BENIN	, 1 ,	0 ,	1
THAILANDE	, 1 ,	1 ,	2
TRINITE ET TOBAG	, 1 ,	0 ,	1
JORDANIE	, 0 ,	1 ,	1
MACAO	, 0 ,	1 ,	1
POLYNESIE FRANCA	, 1 ,	0 ,	1
GUYANE	, 0 ,	1 ,	1
SRI LANKA (CEYLA	, 0 ,	2 ,	2
MALTE	, 0 ,	1 ,	1
BURKINA	, 1 ,	0 ,	1
QATAR	, 0 ,	1 ,	1
GUINEE	, 1 ,	1 ,	2
MADAGASCAR	, 0 ,	1 ,	1
EQUATEUR	, 0 ,	2 ,	2
ffffffffffffffff~ffffffff~ffffffff~ffffffff			
Total	88	41	129

ANNEXE 2 : Estimation des caractéristiques du mode alternatif

A2.1 Estimation du poids de l'envoi

Poids de l'envoi maritime

$$\text{LPOIDS} = -0.5282324939 + 0.9076046925 * \text{LYEARLIKG}$$

Dependent Variable: LPOIDS

Method: Least Squares

Date: 02/21/02 Time: 01:59

Sample: 1 129 IF CHOIX=1

Included observations: 79

Excluded observations: 9

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.528232	0.550045	-0.960345	0.3399
LYEARLIKG	0.907605	0.057223	15.86070	0.0000
R-squared	0.765645	Mean dependent var		7.949120
Adjusted R-squared	0.762602	S.D. dependent var		2.369492
S.E. of regression	1.154500	Akaike info criterion		3.150202
Sum squared resid	102.6310	Schwarz criterion		3.210189
Log likelihood	-122.4330	F-statistic		251.5618
Durbin-Watson stat	1.450932	Prob(F-statistic)		0.000000

Poids de l'envoi aérien :

$$\text{POIDS} = 4333.542091 / (1 + 8.466648526e+13 * \text{YEARLIKG}^{-3.5})$$

Dependent Variable: POIDS

Method: Least Squares

Date: 03/13/02 Time: 01:16

Sample(adjusted): 2 120 IF CHOIX=0 AND POIDS<5000

Included observations: 38 after adjusting endpoints

Convergence achieved after 32 iterations

$\text{POIDS} = \text{C}(1) / (1 + \text{C}(2) * \text{YEARLIKG}^{-3.5})$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	4333.542	285.1853	15.19553	0.0000
C(2)	8.47E+13	5.23E+13	1.620248	0.1139
R-squared	0.921780	Mean dependent var		203.3158
Adjusted R-squared	0.919607	S.D. dependent var		658.8008
S.E. of regression	186.7944	Akaike info criterion		13.34909
Sum squared resid	1256117.	Schwarz criterion		13.43528
Log likelihood	-251.6327	Durbin-Watson stat		0.506743

A2.2 Estimation du prix de transport (en euro par kg)

Prix de transport maritime : les deux méthodes retenues

1) Prix trmer1 estimé avec le poids et le tonnage exporté (tous modes)

Prix trmer1 (en Euros / kg) = $\exp[1.862 - 0.312 \log(\text{KgMer}) - 0.109 \log(\text{ton export /an})]$

Dependent Variable: LPRIXEURO

Method: Least Squares

Date: 02/21/02 Time: 01:11

Sample(adjusted): 8 124 IF CHOIX=1

Included observations: 36

Excluded observations: 40 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.861804	0.587736	3.167756	0.0033
LPOIDS	-0.312069	0.073653	-4.236998	0.0002
LTONEXPORTED	-0.109397	0.048698	-2.246423	0.0315
R-squared	0.562443	Mean dependent var		-1.580491
Adjusted R-squared	0.535925	S.D. dependent var		1.049938
S.E. of regression	0.715250	Akaike info criterion		2.247287
Sum squared resid	16.88224	Schwarz criterion		2.379247
Log likelihood	-37.45116	F-statistic		21.20940
Durbin-Watson stat	0.581445	Prob(F-statistic)		0.000001

2) Prix trmer2 estimé avec le poids de l'envoi et le tonnage exporté par mer uniquement

Prix trmer2 (Euros / kg) = $\exp[2.188 - 0.295 \log(\text{KgMer}) - 0.120 \log(\text{ton export mer /an})]$

Dependent Variable: LPRIXEURO

Method: Least Squares

Date: 04/03/02 Time: 00:15

Sample(adjusted): 8 122 IF CHOIX=1

Included observations: 31

Excluded observations: 43 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.188210	0.684207	3.198171	0.0034
LPOIDS	-0.294856	0.080555	-3.660289	0.0010
LTONMER	-0.120061	0.054489	-2.203380	0.0360
R-squared	0.538724	Mean dependent var		-1.616098
Adjusted R-squared	0.505775	S.D. dependent var		1.048252
S.E. of regression	0.736933	Akaike info criterion		2.319125
Sum squared resid	15.20596	Schwarz criterion		2.457898
Log likelihood	-32.94644	F-statistic		16.35057
Durbin-Watson stat	0.344267	Prob(F-statistic)		0.000020

Prix de transport aérien :

1) Prix trmer1 estimé avec le poids et le tonnage exporté (tous modes)

$$\text{PrixtrAir1} = \exp[3.5677492 - 0.58750968 * \text{lpoids}]$$

Dependent Variable: LPRIXEURO

Method: Least Squares

Date: 02/21/02 Time: 00:58

Sample(adjusted): 26 101 IF CHOIX=0

Included observations: 13 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.567749	0.423495	8.424542	0.0000
LPOIDS	-0.587510	0.109336	-5.373429	0.0002
R-squared	0.724129	Mean dependent var		1.397530
Adjusted R-squared	0.699050	S.D. dependent var		0.837277
S.E. of regression	0.459321	Akaike info criterion		1.422503
Sum squared resid	2.320732	Schwarz criterion		1.509418
Log likelihood	-7.246266	F-statistic		28.87374
Durbin-Watson stat	0.599496	Prob(F-statistic)		0.000226

2). Avec le poids d'envoi et le tonnage exporté par voie aérienne

$$\text{PrixTrair2} = \exp(4.054566857 - 0.6031969763 * \text{LPOIDS} - 0.07510550608 * \text{LTONAIR})$$

Dependent Variable: LPRIXEURO

Method: Least Squares

Date: 04/02/02 Time: 19:03

Sample(adjusted): 26 101 IF CHOIX =0

Included observations: 13 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.054567	0.603425	6.719256	0.0001
LPOIDS	-0.603197	0.108994	-5.534239	0.0002
LTONAIR	-0.075106	0.067042	-1.120269	0.2888
R-squared	0.754891	Mean dependent var		1.397530
Adjusted R-squared	0.705869	S.D. dependent var		0.837277
S.E. of regression	0.454088	Akaike info criterion		1.458121
Sum squared resid	2.061956	Schwarz criterion		1.588494
Log likelihood	-6.477787	F-statistic		15.39905
Durbin-Watson stat	0.377504	Prob(F-statistic)		0.000885

A2.3 Temps de transport maritime estimé (en jours)

Cleq	Pays de destination	Port d'arrivée	Transit time (j.)	Fréquence (/mois)	Temps estimé (j.)	Temps observé
30380103	Afrique du sud	Durban	19	23	37	32
10240303	Australie	Sydney	28	8	47	41
120208	Cameroun	Douala	18	15	37	
10710602	Cameroun	Douala	18	15	37	
10810201	Cameroun	Douala	18	15	37	
11170101	Cameroun	Douala	18	15	37	
11270601	Chili	Valparaiso	28	12	47	34
30060905	Colombie	Cartagena	15	17	33	
10260407	Cote d-ivoire	Abidjan	11	20	29	18
120214	Cote d-ivoire	San pedro ?	21	10	40	
10720803	Egypte	Alexandrie	10	12	29	
10940209	Emirats arabes uinis	Aboudabi ?	21	11	40	
10940202	Equateur	Guayaquil	20	11	39	
10940205	Equateur	Guayaquil	20	11	39	
11180707	Etats unis	Atlanta	12	15	31	
10820410	Etats unis	Jacksonville /	11	21	29	
11150103	Etats unis	Chicago ?	10	14	29	21
30220707	Etats unis	Chicago	10	14	29	21
10810903	Guinee	Conakry	9	20	27	
11170303	Hong kong	Hong-kong	24	15	43	32
10720805	Inde	Bombay ?	27	12	46	37
10610804	Inde	Madras	25	5	46	37
30380106	Israel	Haifa	10	4	31	
10620309	Japon	Hiroshima	25	17	43	
11170309	Japon	Osaka	22	17	40	
30420911	Japon	Tokyo	25	11	44	35
30270306	Etats unis	Miami	12	15	31	
30000702	Liban	Beyrouth	9	4	30	17
10260410	Macao	Hong kpng	26	15	45	
10840604	Madagascar	Toamasina	20	3	43	
11300810	Malte	Malta	3	4	24	
11170107	Maroc	Agadir	7	3	30	
11150101	Maroc	Casablanca	5	8	24	8
11150107	Maroc	Casablanca	5	8	24	8
11240803	Qatar	Via bahrain	22	8	41	
30370602	Reunion	Saint denis	16	3	39	25
11300804	Sri lanka (ceylan)	Colombo	20	20	38	
11300808	Sri lanka (ceylan)	Colombo	20	20	38	
10810804	Thaïlande	Bangkok	21	25	39	
11111010	Tunisie	Tunis	5	8	24	6

ANNEXE 3 : Résultats des modélisations

A3.1 Facteurs explicatifs de la part du maritime et de l'aérien par établissement

Part du maritime (MOD7)

Dependent Variable: MOD7

Method: Least Squares

Date: 04/09/02 Time: 19:56

Sample(adjusted): 1 128

Included observations: 104

Excluded observations: 24 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	37.60222	13.54921	2.775234	0.0066
LPOIDS	0.566190	0.784722	0.721518	0.4723
AACCESS	-12.41313	4.786196	-2.593528	0.0110
TROISTON	-0.193890	0.084027	-2.307477	0.0232
DISTAIRPORT	0.067873	0.079789	0.850661	0.3971
EMPLOYESTB	-0.030596	0.033514	-0.912927	0.3635
LTONEXPORTED	0.724281	0.958176	0.755895	0.4515
R-squared	0.226294	Mean dependent var		15.50625
Adjusted R-squared	0.178436	S.D. dependent var		20.52383
S.E. of regression	18.60283	Akaike info criterion		8.749440
Sum squared resid	33568.33	Schwarz criterion		8.927428
Log likelihood	-447.9709	F-statistic		4.728445
Durbin-Watson stat	0.593966	Prob(F-statistic)		0.000290

Dependent Variable: MOD7

Method: Least Squares

Date: 04/09/02 Time: 19:59

Sample(adjusted): 1 128

Included observations: 104

Excluded observations: 24 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	38.28862	12.43135	3.080004	0.0027
LPOIDS	0.877107	0.712147	1.231638	0.2210
AACCESS	-12.79489	4.616196	-2.771738	0.0067
TROISTON	-0.205333	0.080076	-2.564239	0.0118
DISTAIRPORT	0.062708	0.074371	0.843177	0.4012
R-squared	0.217096	Mean dependent var		15.50625
Adjusted R-squared	0.185463	S.D. dependent var		20.52383
S.E. of regression	18.52310	Akaike info criterion		8.722797
Sum squared resid	33967.42	Schwarz criterion		8.849931
Log likelihood	-448.5854	F-statistic		6.863062
Durbin-Watson stat	0.615073	Prob(F-statistic)		0.000064

Part de l'aérien (MOD6)

Dependent Variable: MOD6

Method: Least Squares

Date: 04/09/02 Time: 19:51

Sample(adjusted): 1 128

Included observations: 105

Excluded observations: 23 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	28.79328	8.653681	3.327287	0.0012
LVALKILO	1.266736	0.903487	1.402052	0.1640
LTONYEAR	-12.36780	1.849126	-6.688456	0.0000
LTONEXPORTED	9.313760	1.606596	5.797201	0.0000
TROISTON	0.056811	0.057559	0.987012	0.3260
R-squared	0.426276	Mean dependent var		10.05895
Adjusted R-squared	0.403327	S.D. dependent var		19.53667
S.E. of regression	15.09103	Akaike info criterion		8.312527
Sum squared resid	22773.93	Schwarz criterion		8.438906
Log likelihood	-431.4076	F-statistic		18.57492
Durbin-Watson stat	1.152720	Prob(F-statistic)		0.000000

Dependent Variable: MOD6

Method: Least Squares

Date: 04/09/02 Time: 19:55

Sample(adjusted): 1 128

Included observations: 106

Excluded observations: 22 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	31.03017	6.565320	4.726376	0.0000
LVALKILO	0.441944	0.883980	0.499948	0.6182
LTONYEAR	-13.40815	1.878661	-7.137078	0.0000
LTONEXPORTED	8.575268	1.531164	5.600492	0.0000
LSHIPNUM	1.384000	0.819911	1.687987	0.0945
EMPLOYESTB	0.082482	0.024900	3.312547	0.0013
R-squared	0.492098	Mean dependent var		9.973491
Adjusted R-squared	0.466703	S.D. dependent var		19.46332
S.E. of regression	14.21352	Akaike info criterion		8.201203
Sum squared resid	20202.41	Schwarz criterion		8.351963
Log likelihood	-428.6637	F-statistic		19.37767
Durbin-Watson stat	1.195272	Prob(F-statistic)		0.000000

A.3.2 Modèles du choix modal logit par envoi

A.3.2.1 Modèle à poids d'envoi variable selon le mode

Avec prix estimé par tonnage exporté total

Dependent Variable: CHOIX

Method: ML - Binary Logit

Date: 04/03/02 Time: 00:48

Sample: 1 129

Included observations: 120

Excluded observations: 9

Convergence achieved after 13 iterations

Covariance matrix computed using second derivatives

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	5.308148	1.393650	3.808809	0.0001
PRIXMERUNIT	-7.780717	1.649327	-4.717510	0.0000
MERTIME12	-0.037421	0.034042	-1.099252	0.2717
PRIXAIRUNITLOGI	0.560503	0.149485	3.749551	0.0002
AIRTIMECONST1	0.079254	0.057127	1.387326	0.1653
Mean dependent var	0.683333	S.D. dependent var		0.467127
S.E. of regression	0.265397	Akaike info criterion		0.506410
Sum squared resid	8.100076	Schwarz criterion		0.622556
Log likelihood	-25.38462	Hannan-Quinn criter.		0.553578
Restr. log likelihood	-74.91976	Avg. log likelihood		-0.211538
LR statistic (4 df)	99.07028	McFadden R-squared		0.661176
Probability(LR stat)	0.000000			
Obs with Dep=0	38	Total obs		120
Obs with Dep=1	82			

Avec prix estimé par tonnage exporté par voie aérienne ou maritime

Dependent Variable: CHOIX

Method: ML - Binary Logit

Date: 04/03/02 Time: 01:26

Sample(adjusted): 1 127

Included observations: 69

Excluded observations: 58 after adjusting endpoints

Convergence achieved after 15 iterations

Covariance matrix computed using second derivatives

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	5.995990	2.049221	2.925985	0.0034
PRIXKGMER1	-8.004916	2.322165	-3.447177	0.0006
MERTIME12	-0.039761	0.039771	-0.999730	0.3174
PRIXKGAIR1	0.212255	0.210926	1.006298	0.3143
AIRTIMECONST1	0.094915	0.065254	1.454561	0.1458
Mean dependent var	0.652174	S.D. dependent var		0.479770
S.E. of regression	0.273899	Akaike info criterion		0.598217
Sum squared resid	4.801313	Schwarz criterion		0.760109
Log likelihood	-15.63849	Hannan-Quinn criter.		0.662445
Restr. log likelihood	-44.58024	Avg. log likelihood		-0.226645
LR statistic (4 df)	57.88351	McFadden R-squared		0.649206
Probability(LR stat)	8.07E-12			
Obs with Dep=0	24	Total obs		69
Obs with Dep=1	45			

A.3.2.2 Modèle à poids d'envoi identique pour les deux modes

Avec prix estimé par tonnage exporté total

Dependent Variable: CHOIX

Method: ML - Binary Logit

Date: 04/03/02 Time: 01:44

Sample: 1 129

Included observations: 120

Excluded observations: 9

Convergence achieved after 7 iterations

Covariance matrix computed using second derivatives

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-1.139830	0.859230	-1.326572	0.1847
MERPRIXDATA	-0.000167	0.000453	-0.369092	0.7121
MERTIME12	-0.020004	0.027763	-0.720536	0.4712
AIRPRIXPOID	0.004116	0.001151	3.575451	0.0003
AIRTIMECONST1	0.070911	0.069858	1.015073	0.3101
Mean dependent var	0.683333	S.D. dependent var	0.467127	
S.E. of regression	0.359822	Akaike info criterion	0.875787	
Sum squared resid	14.88928	Schwarz criterion	0.991932	
Log likelihood	-47.54720	Hannan-Quinn criter.	0.922954	
Restr. log likelihood	-74.91976	Avg. log likelihood	-0.396227	
LR statistic (4 df)	54.74512	McFadden R-squared	0.365358	
Probability(LR stat)	3.67E-11			
Obs with Dep=0	38	Total obs	120	
Obs with Dep=1	82			

Avec prix estimé par tonnage exporté par voie aérienne ou maritime

Dependent Variable: CHOIX

Method: ML - Binary Logit

Date: 04/03/02 Time: 01:54

Sample(adjusted): 1 127

Included observations: 69

Excluded observations: 58 after adjusting endpoints

Convergence achieved after 5 iterations

Covariance matrix computed using second derivatives

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.832522	0.864037	2.120883	0.0339
PRIXKGMER	-0.532884	0.688816	-0.773624	0.4392
MERTIME12	0.001912	0.026452	0.072276	0.9424
PRIXKGAIR	-0.394082	0.248278	-1.587261	0.1125
AIRTIMECONST1	-0.000350	0.057141	-0.006119	0.9951
Mean dependent var	0.652174	S.D. dependent var	0.479770	
S.E. of regression	0.411063	Akaike info criterion	1.120173	
Sum squared resid	10.81424	Schwarz criterion	1.282064	
Log likelihood	-33.64595	Hannan-Quinn criter.	1.184400	
Restr. log likelihood	-44.58024	Avg. log likelihood	-0.487623	
LR statistic (4 df)	21.86858	McFadden R-squared	0.245272	
Probability(LR stat)	0.000213			
Obs with Dep=0	24	Total obs	69	
Obs with Dep=1	45			

TABLE DES MATIERES

<i>Résumé</i>	<i>I</i>
<i>Fiche Résumé</i>	<i>II</i>
<i>Synthèse du rapport</i>	<i>III</i>
INTRODUCTION	1
La poursuite des travaux sur les enquêtes chargeurs	1
Un modèle de choix du mode aérien	1
La forme du modèle : choix simultané du mode et de la taille de l'envoi	2
Contenu du rapport	2
Chapitre 1 : Les Modèles de choix modal	4
Chapitre 2 : Les données utilisées	7
2.1 L'enquête Mystic	7
2.1.1 Objectifs et méthode des enquêtes chargeurs	7
2.1.2 L'enquête Mystic	8
2.1.3 Sélection des envois maritimes et aériens intercontinentaux	9
2.2 Estimation des caractéristiques du mode alternatif	10
2.2.1 Estimation du poids de l'envoi pour le mode alternatif	10
2.2.2 Estimation du prix de transport pour le mode alternatif	13
2.2.3 Estimation du temps de transport pour le mode alternatif	17
2.3 Conclusion du chapitre	20
Chapitre 3 : modélisation du choix air – mer	22
3.1 Le profil des établissements utilisateurs de l'aérien	22
3.2 : Modélisation du choix air – mer par envoi	25
3.2.1 Modèle logit	25
3.2.3 Impact des variables autres que prix et temps sur le choix modal	29
3.2.4 Modèle probit	30
Chapitre 4 : Comparaison avec les résultats de travaux antérieurs	31
4.1 Valeur du temps	31
Rappel sur la valeur du temps dans les modèles désagrégés	31
Comparaison avec les résultats de travaux antérieurs	33
4.2 Elasticités	34
Rappel sur les élasticités simples et croisées	34
CONCLUSION	34
Références	366

ANNEXES	42
ANNEXE 1 : nombre d'observations par destination et par mode	43
ANNEXE 2 : Estimation des caractéristiques du mode alternatif	44
A2.1 Estimation du poids de l'envoi	44
A2.2 Estimation du prix de transport (en euro par kg)	45
A2.3 Temps de transport maritime estimé (en jours)	47
ANNEXE 3 : Résultats des modélisations	48
A3.1 Facteurs explicatifs de la part du maritime et de l'aérien par établissement	48
A.3.2 Modèles du choix modal logit par envoi	50
A.3.2.1 Modèle à poids d'envoi variable selon le mode	50
A.3.2.2 Modèle à poids d'envoi identique pour les deux modes	51

INRETS/RE-02-014-FR