

LA QUALITÉ DES SERVICES DE TRANSPORT DE MARCHANDISES : UNE ANALYSE AGRÉGÉE DES ORDRES DE PRÉFÉRENCE DÉCLARÉS

CHRISTOPHE BOUFFIOUX, MICHEL BEUTHE

GRUPE TRANSPORT ET MOBILITÉ

FACULTÉS UNIVERSITAIRES CATHOLIQUES DE MONS

TOM PAUWELS

DEPARTEMENT TRANSPORT EN

RUIMTELIJKE ECONOMIE

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

1. INTRODUCTION¹

Devant l'expansion continue des transports de personnes et de marchandises qui provoque de nombreuses nuisances sur les routes, de la congestion, de la pollution, des accidents et du bruit, les autorités publiques souhaiteraient une redistribution des flux de transport de marchandises vers le chemin de fer, la

¹ Cet article est un des produits d'une recherche entreprise par un consortium universitaire belge des Facultés Universitaires Catholiques de Mons et des Universités d'Anvers, de Gand et de Louvain-La-Neuve. Le consortium était dirigé par M. BEUTHE (Mons), H. MEERSMAN et E. VAN DE VOORDE (Anvers), F. WITLOX (Gand) et M. MOUCHART (Louvain-La-Neuve). Cette recherche a reçu le soutien financier des Services Publics Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles de Belgique que nous tenons à remercier ici. Nous tenons à remercier les deux lecteurs de cet article pour leur suggestions constructives.

voie navigable terrestre ainsi que le cabotage maritime. Pour bien comprendre ce qu'il est possible de faire en ce sens et l'organiser, il importe d'analyser les déterminants des choix de transport. En effet, ce choix ne se fait pas seulement par rapport au prix du transport, mais également par rapport à la qualité des services de transport, c'est-à-dire la fréquence des services proposés, le temps pris pour effectuer le transport, la fiabilité par rapport aux délais de livraison, la capacité du transporteur à satisfaire une demande inattendue, et la sécurité du transport. Cet article contribue à cette problématique par l'analyse des résultats obtenus à la suite d'une enquête réalisée auprès d'expéditeurs belges.

L'objectif de l'article est d'évaluer l'importance relative que les décideurs en la matière accordent aux attributs qualitatifs par rapport au coût du transport et de la mesurer en termes d'équivalent monétaire. Deux approches peuvent être utilisées pour ce faire. La première est l'analyse de décisions réellement prises par des managers, communément appelées analyse des préférences révélées car ces décisions révèlent les poids qu'ils donnent aux divers attributs. La seconde recourt à l'analyse de jugements exprimés par rapport à des solutions de transport hypothétiques, que l'on appelle analyse des préférences déclarées. La première approche étant exigeante en termes de données sur les alternatives effectivement considérées, c'est la seconde qui est le plus souvent utilisée, bien qu'elle ne soit pas sans problème d'interprétation. Elle permet en tout cas de confronter un décideur à des alternatives bien définies parmi lesquelles il peut exprimer ses préférences. Elle crée ainsi de nombreuses données de choix qui peuvent faire l'objet d'une analyse économétrique détaillée.

Cette méthodologie a déjà fait l'objet d'un certain nombre d'applications dans divers pays avec des évaluations assez variées qui résultent largement des circonstances de transport analysées, c'est-à-dire de la nature des réseaux de transport, des marchandises transportées, des distances, des modes considérés, etc. Notre analyse et ses résultats sont aussi marqués par la spécificité de l'échantillon obtenu par l'enquête, qui sera détaillée dans la suite de l'article. Mais les résultats sont aussi fonction dans une certaine mesure des techniques d'enquête utilisées et des méthodes économétriques appliquées. De ce point de vue, notre travail se distingue de deux manières : en premier lieu, les choix des managers de transport ne devaient s'exprimer que par un rangement selon l'ordre de préférence entre alternatives, et non par une mesure d'utilité ; en second lieu, et par conséquent, le modèle économétrique correspond à ce type de classement, car il analyse exactement la suite des préférences exprimées pour chacune des alternatives par rapport aux alternatives qui lui sont jugées inférieures. Pour ce faire, nous avons adopté le modèle logistique conditionnel développé par BEGGS et alii (1981) et CHAPMAN et STAELIN (1982). D'autres techniques d'analyses pourraient être également envisagées, par exemple le modèle économétrique de « rangement

par ordre de réponse »² de AITCHISON et SILVEY (1957) et ASFORD (1959), mais aussi certaines techniques d'analyse multicritère, comme UTA ou Quasi-UTA, expérimentées par BEUTHE et alii (2005). Elles ne sont pas appliquées dans cet article.

La section 2 de cet article donne la description du questionnaire d'interview développé pour cette recherche et le modèle expérimental utilisé pour obtenir des managers de transport leur rangement préférentiel entre différentes solutions hypothétiques de transport. La section 3 présente le modèle économétrique approprié (BEGGS et alii, 1981 ; CHAPMAN, STAELIN, 1982) pour analyser des préférences exprimées selon un ordre de préférence. La section 4 suivante analyse les résultats obtenus par cette méthodologie. Une brève conclusion clôturera l'article.

2. L'ENQUÊTE ET LE MODÈLE EXPÉRIMENTAL

La méthodologie des préférences déclarées est utilisée couramment dans le domaine du transport pour analyser les choix de solutions de transport, et en particulier les choix faits par les voyageurs. Une information abondante à ce sujet peut être trouvée, par exemple, dans le manuel récemment publié par l'U.K. DEPARTMENT OF TRANSPORT (2002). Au cours des dernières années, un certain nombre de recherches ont aussi été publiées dans le domaine du transport de marchandises. Certaines de ces publications méritent d'être signalées ici, par exemple FOWKES et SHINGAI, BOLIS et MAGGI, FRIDSTROM et MADSLIEN, MAIER et BERGMAN, toutes contributions éditées dans le livre de DANIELIS (2002), mais aussi BERGKVIST (1998), JOVICIC (1998), MATEAR, GRAY (1993), STRATEC (1999), INRETS (2000), DE JONG (2000 ; 2004) et DANIELIS (2005). Cependant, beaucoup de ces recherches se limitent à l'analyse de transports très spécifiques, comme le choix entre les transports routiers et inter-modaux le long d'un corridor de transport, le choix entre le transport pour compte propre et le recours à un transporteur externe, ou se limitent simplement à l'analyse de la valeur du temps. De plus, les échantillons sont parfois assez restreints compte tenu du nombre de variables explicatives potentielles. Dans l'ensemble, ce problème mérite donc davantage de recherche, en particulier dans le contexte des transports belges pour lesquels aucune étude approfondie n'a jamais été réalisée. Ceci justifie notre intérêt pour cette problématique.

Les techniques d'interview, nécessaires pour obtenir l'information sur les préférences des décideurs, sont bien développées et largement utilisées dans beaucoup de domaines, et en particulier en marketing. Elles sont toujours délicates à utiliser, car les interviews doivent être ajustés à chaque problème particulier, à la nature de l'échantillon visé... et au budget disponible. Le questionnaire proprement dit, et son modèle expérimental, pose également

² « *Ordered response model* ». Voir aussi MADDALA (1983).

pas mal de difficultés. Enfin la modélisation du problème de décision et les techniques économétriques utilisées pour l'analyse des données constituent un autre domaine de recherche.

Les données de préférences déclarées utilisées pour cet article proviennent d'une enquête auprès de managers de transports de marchandises appartenant à des firmes expéditrices belges. La méthodologie et le questionnaire sont basés sur une large revue de la littérature scientifique dans les domaines du transport, du marketing et de la statistique. Certaines des contributions que l'on peut y trouver ont déjà été mentionnées ci-dessus, mais il est opportun de citer aussi GREEN et SRIVINISAN (1990), HUBER et alii (1996), LOUVIÈRE et alii (2000), comme aussi OPPEWAL (1995a ; 1995b), CARMONE et SCHAFFER (1995), et CARROLL et GREEN (1995) pour des revues de techniques et de programmes informatiques disponibles. Des références supplémentaires peuvent être trouvées dans l'article de LOUVIÈRE et STREET (2000), ainsi que dans le manuel de l'U.K. Department of TRANSPORT (2002).

Quelques interviews en profondeur de managers furent réalisées durant la rédaction du questionnaire. Sa faisabilité fut ainsi testée et permit un certain nombre d'ajustements. En fait, il fut finalement un compromis entre le désir de rassembler autant d'information que possible et des considérations pratiques tenant aux limites qu'imposent une enquête. Il fut choisi de faire des interviews face-à-face, car elles permettaient d'obtenir des informations supplémentaires au cours d'un dialogue, ainsi que de vérifier la bonne compréhension du questionnaire par le manager interviewé.

Le questionnaire et l'expérience de préférences déclarées furent administrés sur papier sans support informatique. Les études publiées à ce sujet ont considérés quatre à sept différents attributs de service, parmi lesquels notre groupe de recherche choisit et définit six attributs apparemment significatifs. C'est un nombre que la littérature dans le domaine considère possible dans la réalité d'une interview. De plus, nous avons considéré qu'il valait mieux présenter chaque alternative de transport en la définissant de façon complète par rapport aux six attributs. Afin de faciliter cette tâche, chaque alternative fut présentée sur une carte séparée. Cela permettait de comparer de façon commode les alternatives et de les classer, avec toujours la possibilité de corriger son jugement et de modifier le classement durant l'exercice de préférence. Nous avons choisi aussi de demander seulement un rangement par ordre de préférence, et non pas une évaluation de l'utilité de chaque alternative. En effet, nous avons jugé une telle tâche assez difficile pour la personne interviewée, alors qu'un simple classement de préférences procurait déjà une information substantielle. Enfin, il fut décidé de limiter le nombre d'alternatives en adoptant un modèle factoriel expérimental fractionnaire orthogonal selon la proposition de ADDELMAN (1962). Dans l'ensemble, ce dispositif d'interview fut accepté comme réaliste et faisable par la plupart des managers qui y ont été soumis, soit plus de 130 personnes. Notons que ce

modèle factoriel implique que seuls les effets directs des attributs sur les préférences peuvent être analysés, tandis que les effets d'interaction entre attributs sont négligés.

L'enquête vise le groupe des firmes de 20 employés au moins, qui expédient des marchandises de tout type et vers toute destination européenne. Quelques prestataires logistiques qui organisent des expéditions pour l'industrie sont inclus dans ce groupe. Les modes considérés sont le rail, la route, la navigation intérieure, le cabotage maritime, ainsi que leurs combinaisons inter- et multimodales. Étant donné la petite dimension du territoire belge, aucune origine de transport n'est exclue, même si elle peut avoir une accessibilité réduite par rapport à certains modes. L'attention étant centrée sur le transport interurbain et les possibilités de changement de solution de transport, les activités de distribution urbaine sont exclues de l'enquête. Cependant, aucune distance minimale de transport n'est fixée, même si l'intérêt d'autres transports que la route est réduit sur de courte distance. En effet, il existe en Belgique des cas de transport de marchandises industrielles sur de courtes distances par chemin de fer et par voie navigable.

Malheureusement, beaucoup de firmes sont réticentes à l'interview par manque d'intérêt pour la démarche scientifique, manque de temps ou pour raison de confidentialité. Il s'ensuit que, comme pour d'autres études similaires, l'échantillon d'analyse est relativement restreint : 113 interviews nous ont donné des informations suffisamment complètes, alors que nous avons contacté par correspondance et conversation téléphonique 572 firmes. Il est donc difficile de qualifier cet échantillon de représentatif, bien que, pour autant que la comparaison soit possible, il corresponde approximativement à la répartition entre modes ainsi qu'à la distribution du chiffre d'affaires des firmes belges. Ce nombre assez réduit ne peut évidemment couvrir l'ensemble des situations de transport en Belgique. Toutefois, l'analyse détaillée par sous-groupes de la Section 4 procure beaucoup d'enseignements utiles qui indiquent une très grande variété d'attitudes dans le chef des gestionnaires de transport³. La composition de l'échantillon est discutée davantage au cours de la Section 4.

Les interviews suivent un questionnaire composé de quatre parties. En premier lieu, une série de questions vise les caractéristiques générales de la firme, et, en particulier l'organisation du site à partir duquel l'expédition est faite. Ensuite, il est demandé de décrire un flux de transport typique à partir de ce site, notamment par les niveaux des six attributs objets de l'analyse. Ce flux sera utilisé comme référence dans l'expérience de préférences déclarées. Cet exercice peut alors prendre place, qui mène à un classement par ordre de préférence d'alternatives définies par rapport aux niveaux des attributs du flux typique de référence. Finalement, une série de questions tente d'évaluer

³ Une analyse par firme individuelle, comme dans BEUTHE et alii (2006), fait aussi apparaître une très grande variété d'attitudes.

dans quelle mesure le manager interviewé serait prêt à changer de moyen ou de mode de transport pour utiliser une des alternatives qu'il a préféré dans la troisième étape⁴.

La première série de questions concerne la taille de la firme, son type d'activité, son accessibilité par rapport au réseau de transport, la façon dont les décisions de transport sont prises, etc. Elles obtiennent ainsi des informations sur des dimensions qui peuvent être introduites comme variables explicatives des comportements dans une analyse économétrique. Certaines de celles-ci sont utilisées en Section 4 pour définir des sous-groupes d'analyse.

La seconde partie du questionnaire conduit le décideur à choisir et décrire un flux typique de transport : la marchandise expédiée, son origine et sa destination, la distance, le tonnage annuel, la fréquence d'expédition et sa taille, le type de destinataire, la valeur et les caractéristiques du bien, etc. Ensuite, le décideur doit donner le niveau des six attributs retenus. Certains de ces attributs sont définis en pourcentages de réalisation afin d'y inclure l'idée du risque qui caractérise ces attributs. Ils sont définis de la façon suivante :

- la Fréquence de service par semaine, qui est effectivement proposée au chargeur,
- le Temps mis par le transport de l'origine à la destination, y compris le chargement et le déchargement,
- la Fiabilité en termes de pourcentages de livraison réalisée à temps,
- la Flexibilité en termes de pourcentage de demandes de transport inattendues qui ont pu être honorées par le(s) transporteur(s) sans délai excessif,
- la Sécurité, c'est-à-dire l'absence en pourcentage de pertes et de dégâts des marchandises durant le transport,
- le Coût est le prix payé pour le transport, y compris le chargement et le déchargement.

Dans la partie centrale du questionnaire, l'interviewé doit ranger les alternatives proposées par ordre de préférence. Celles-ci sont définies par leurs six attributs. Les niveaux des attributs sont donnés en pourcentages de variation par rapport au flux typique de référence. Toutefois, l'interviewé est invité à garder à l'esprit les valeurs des attributs du flux typique et d'interpréter les variations en pourcentages par rapport à cette situation réelle de référence. Certaines alternatives définies de cette façon sont présentées dans le Tableau 1. Cette façon de procéder permet d'utiliser les mêmes cartes pour toutes les interviews alors même que la situation de référence varie d'une firme à l'autre. Elle définit aussi de façon claire la situation de référence pertinente à partir de laquelle un changement pourrait être envisagé (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 2002 :ch. 12).

⁴ Le questionnaire, trop long pour être inclus dans cet article, peut être obtenu sur demande.

Tableau 1 : Exemples d'alternatives proposées

	Fréquence	Temps	Fiabilité	Flexibilité	Sécurité	Coût
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	10%	10%	20%	-10%	-20%
3	0%	20%	20%	-20%	10%	-10%
4	0%	-10%	-10%	10%	-20%	20%
5	0%	-20%	-20%	-10%	20%	10%
6	10%	0%	10%	10%	10%	10%
-	-	-	-	-	-	-
15	20%	-20%	10%	0%	-20%	-10%
16	-10%	0%	-10%	-10%	-10%	-10%
17	-10%	10%	-20%	0%	10%	20%
-	-	-	-	-	-	-
23	-20%	20%	10%	-10%	0%	20%
24	-20%	-10%	20%	0%	-10%	10%
25	-20%	-20%	-10%	20%	10%	0%

Comme il est montré dans le Tableau 1, cinq niveaux de variation seulement sont considérés : plus ou moins 10 %, plus ou moins 20 % et le niveau 0 de variation. La première alternative définie par des variations nulles évidemment correspond à la situation de référence. Quant à la deuxième alternative, elle est caractérisée par une variation positive de 10 % du Temps et de la Fiabilité, une augmentation de la Flexibilité de 20 % et des diminutions de la Sécurité et du Coût, respectivement de 10 % et 20 %. Ceci signifie, par exemple, que si le coût est de 100 € avec une fiabilité de 80 % pour l'alternative 1 de référence, le coût de l'alternative 2 est seulement de 80 € et sa Fiabilité atteint les 88 %.

Tout ceci est soigneusement expliqué au décideur au début de l'exercice de préférence déclarée. Dans certains cas, une valeur de référence peut être proche ou égale à 100 % (ou 0 %), en sorte que la variation est sujette à une contrainte. Cette dernière est alors indiquée au décideur afin qu'il en tienne compte dans ses évaluations.

Les interviews « face-à-face » donnent la possibilité de guider l'interviewé si nécessaire, de recueillir ses commentaires oraux complémentaires et d'observer comment il procède pour classer les alternatives. Ces observations sont très utiles pour interpréter les préférences individuelles et vérifier les résultats obtenus.

Nous devons souligner qu'aucune des alternatives n'est associée explicitement à l'utilisation d'un mode spécifique. La situation de référence pourrait cependant être associée au mode auquel elle correspond dans l'esprit de l'interviewé. Nous pouvons certainement supposer qu'une solution préférée à l'alternative de référence serait effectivement retenue si elle était possible sans changement de mode, mais nous ne pouvons en être certains, si

elle nécessitait un changement. Afin de s'en assurer, une série de questions supplémentaires sont posées dans la dernière partie du questionnaire. Elles vérifient si le répondant aurait précédemment envisagé un changement, s'il y aurait des obstacles à cela, et s'il accepterait un changement au cas où une alternative préférée par rapport à la solution présente était réellement offerte alors même qu'elle impliquerait un changement de mode. Cette information supplémentaire devrait permettre de donner une interprétation des résultats obtenus par rapport à la problématique du changement modal.

Dans cet article nous ne pouvons pas encore tirer tous les enseignements de l'enquête. Le travail d'interprétation et d'analyse économétrique est toujours en cours, alors que diverses approches statistiques peuvent être suivies. Dans la section suivante, nous présentons seulement le modèle économétrique assez peu utilisé de BEGGS et alii (1981) et CHAPMAN et STAELIN (1982), qui est particulièrement bien adapté à l'analyse d'un classement par ordre de préférence. Ses résultats sont donnés et discutés dans la dernière section.

3. LE MODÈLE LOGISTIQUE DE CHOIX APPLIQUÉ AUX RANGEMENTS PAR ORDRE DE PRÉFÉRENCE⁵

Les modèles de type logistique appartiennent à la famille des modèles de choix discret. Ces modèles visent à évaluer la probabilité de choisir une alternative parmi d'autres sur base de leur utilité qui est fonction du profil du décideur, des circonstances du choix ainsi que des caractéristiques des alternatives. Dans le contexte présent, il s'agit d'estimer l'importance relative d'un certain nombre d'attributs pour le choix d'une alternative de transport de marchandises. On pense en général que ce choix de solutions de transport se décide sur base de leurs « coûts généralisés », parmi lesquels sont compris tous les facteurs pertinents, y compris des facteurs qualitatifs pour ce qu'ils impliquent en termes de coûts pour la firme. Il vaudrait donc mieux parler ici de fonction de décision ou de fonction de coût plutôt que de fonction d'utilité. C'est pourtant cette terminologie qui est utilisée dans cet article car elle est la plus couramment utilisée.

L'objectif étant d'évaluer des fonctions exprimant l'utilité d'attributs de transport, il paraît opportun de ne considérer dans ces fonctions que les attributs par rapport auxquels les préférences individuelles ont été exprimées. Cependant, pour tenir compte des circonstances particulières des transports, telles la distance, la valeur des biens, le mode utilisé, etc., une série d'estimations par sous-groupes d'entreprises peut être effectuée. C'est la pratique la plus courante et c'est celle qui sera suivie dans cet article, quitte à examiner ultérieurement une autre modélisation. Le modèle économétrique utilisé ici correspond donc à une analyse logistique conditionnelle, développée initialement par McFADDEN (1974), dans laquelle les coefficients de

⁵ Connu dans la littérature de langue anglaise sous le nom de « *rank ordered logit* ».

chaque variable dans la fonction d'utilité sont communs à toutes les observations.

Le modèle de McFADDEN suppose que le décideur s'efforce de maximiser sa fonction d'utilité. Cependant cette maximisation est sujette à erreurs car le décideur peut avoir une perception imparfaite du problème et de son optimisation. De plus, certaines caractéristiques des alternatives peuvent n'avoir pas été observées. Pour ces raisons, les fonctions d'utilité sont définies comme stochastiques avec des termes d'erreur caractérisés par une distribution (doublement exponentielle) de Gumbel. Cependant, des données de rangements par ordre de préférence demandent une spécification particulière du modèle qui a été développée par LUCE (1959) et LUCE et SUPPES (1965) d'un point de vue théorique, et implémentée empiriquement par BEGGS et alii (1981) et CHAPMAN et STAELIN (1982).

Le théorème du rangement par ordre de préférence de LUCE et SUPPES conduit à la décomposition suivante de la probabilité de classement :

$$\begin{aligned} P(1, 2, \dots, J) &= P(1|\{1, 2, \dots, J\}) \cdot P(2|\{2, 3, \dots, J\}) \\ &\dots P(J-1|\{J-1, J\}) \\ &= \prod_{j=1}^{J-1} P(j|\{j, j+1, \dots, J\}). \end{aligned}$$

Dans cette équation, $P(1, 2, \dots, J)$ est la probabilité d'un rangement complet quelconque tel que l'alternative placée en première position (indexée par le chiffre 1), est préférée à l'alternative en seconde position (indexée par le chiffre 2), laquelle est préférée à l'alternative en troisième position, etc. Cette probabilité peut être décomposée en un produit d'une suite de probabilités $P(j | \{j, j+1, \dots, J\})$, qui correspondent aux probabilités que l'alternative j soit choisie plutôt que les autres alternatives contenues dans l'ensemble restreint allant de la position de préférence j à la dernière position J . L'équation signifie donc que la probabilité d'un rangement complet de J alternatives est égale au produit des probabilités de $J-1$ choix indépendants faits par rapport à des ensembles de choix successivement réduits. Ce résultat résulte de l'hypothèse d'indépendance par rapport à des alternatives sans pertinence, qui déterminent des probabilités qui ne sont pas affectées par l'ordre de préférence des alternatives qui ne font pas partie de l'ensemble de choix.

Dans le cadre du modèle d'utilité stochastique, BEGGS et alii (1981) arrivent à ce résultat à partir de la distribution des erreurs de Gumbel. En supposant que la fonction d'utilité est :

$$U_j = V_j + \epsilon_j = X_j' \beta + \epsilon_j = \sum_i \beta_i x_{ij} + \epsilon_j$$

avec la fonction de distribution cumulée

$$F(\epsilon_j < \epsilon) = \exp(-e^{-\epsilon})$$

où j indique une alternative particulière et i initialise un attribut, on obtient

que la probabilité d'un ordre de référence est le produit de probabilités de choix logistique par rapport à des ensembles de choix successivement réduits :

$$\begin{aligned} & Pr(u_1 > u_2 > \dots > u_J) \\ &= \prod_{j=1}^J P(u_j > u_m, \forall m > j) \\ &= \prod_{j=1}^{J-1} \frac{\exp(V_j)}{\sum_{m=j}^J \exp(V_m)} \end{aligned}$$

La fonction de vraisemblance qui y correspond est :

$$L(\beta) = \sum_{j=1}^{J-1} (V_j) - \sum_{j=1}^J \ln \left(\sum_{m=j}^J \exp(V_m) \right)$$

La décomposition de la probabilité d'un ordre de préférence en un produit de probabilités de choix indépendants est qualifiée de processus d'explosion des données, qui permet une exploitation efficiente des données par la création d'observations de choix statistiquement indépendantes (CHAPMAN, STAELIN, 1982). Après cette démultiplication des données, l'estimation des fonctions d'utilité peut se faire comme une analyse logistique conditionnelle.

Notons bien que ce modèle doit être distingué du modèle de « rangement par ordre de réponse »⁶ qui vise à estimer la probabilité qu'une alternative appartienne à une des catégories rangées selon un ordre de préférence. Cette approche exigerait l'estimation de paramètres supplémentaires qui définiraient le domaine des catégories.

4. L'ANALYSE EMPIRIQUE

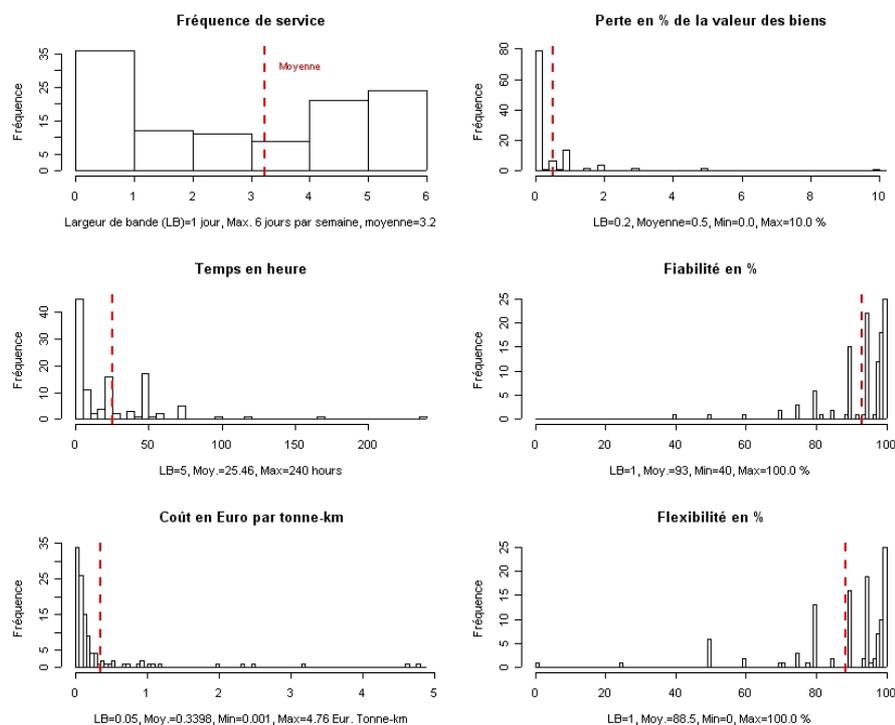
Comme expliqué en Section 3, seuls les attributs sont introduits dans l'analyse économétrique⁷, puisque les fonctions d'utilité individuelles ne dépendent ici que de ces variables. Les distributions de ces variables, aux valeurs qu'elles prennent pour les flux typiques, sont illustrées dans la Figure 1. On note que la Fréquence de service varie de 1 à 6, sans tenir compte du nombre de camions utilisés chaque jour, et que le Temps, ou durée du transport, est majoritairement inférieur à 48 heures. La distribution de la Fiabilité est tassée vers 100 % ; celle des Pertes en pourcentage des valeurs transportées, qui permettent de définir l'attribut de Sécurité (100 - % de perte), est tassée vers 0 %. La Flexibilité a une moyenne élevée. Quant au Coût par tonne-km, il est rarement supérieur à 0,4. Les lignes pointillées dans chacun des diagrammes

⁶ Connu sous le nom de « *ordered response model* » dans la littérature de langue anglaise (MADDALA, 1991:46).

⁷ Tous les calculs statistiques ont été effectués dans SAS et le modèle « *conditional logit* » a été estimé au moyen de la procédure MDC.

correspondent aux moyennes. Pour les alternatives hypothétiques introduites dans l'analyse économétrique, la valeur de leurs attributs est calculée en valeurs réelle en appliquant les pourcentages de variation sur la valeur de l'alternative de référence. Les attributs en pourcentage ne peuvent cependant dépasser 100 % ni être inférieurs à 0 %.

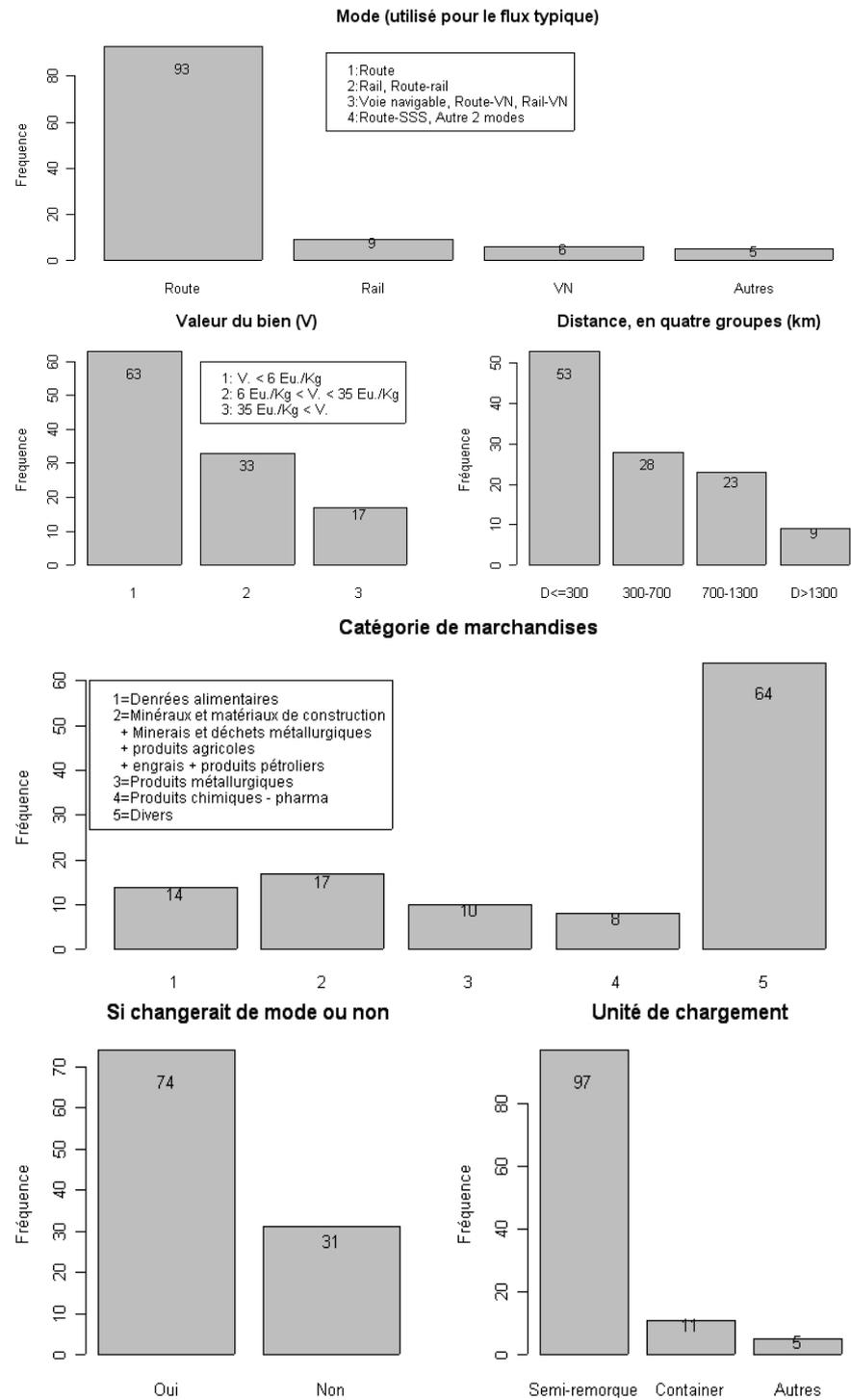
Figure 1 : Distributions des attributs



Évidemment, les fonctions d'utilité sont différentes d'une firme à l'autre selon les circonstances particulières à chaque firme. Pour en tenir compte, les données ont été réparties en sous-groupes sur base des distributions des données par rapport à plusieurs variables : le mode de transport, la distance de transport, la valeur et la catégorie des marchandises, l'unité de transport, ainsi que la disposition à changer de solution et de mode de transport. Des estimations successives par rapport à ces sous-groupes sont donc calculées. Les distributions des observations par rapport à ces variables sont illustrées dans la Figure 2.

Par rapport aux modes, on a distingué les transports routiers (93 firmes), les transports par rail ou combinaison rail-route (9), les transports utilisant la voie navigable intérieure y compris en combinaison avec le rail ou la route (6) enfin les combinaisons de cabotage maritime avec la route et toutes autres combinaisons de modes (5). On voit donc que la majeure partie des interviews obtenues concernent des transports routiers.

Figure 2 : Distribution des variables de partition



Quant à la valeur des marchandises, trois groupes sont analysés : celui des marchandises de moins de 6 Euros/kg (63 firmes), celui des valeurs comprises entre 6 et 35 Euros/kg (33), enfin des valeurs plus élevées que 35 euros/kg (17). Par rapport à la distance, les données ont été réparties en quatre groupes selon que les transports étaient d'une distance inférieure à 300 km (53 firmes), d'une distance comprise entre 300 et 700 km (28 firmes), entre 700 et 1 300 km (23 firmes) et au-delà (9 firmes).

La partition des données selon la catégorie de marchandises regroupe les expéditions de denrées alimentaires en catégorie 1 (14), les minéraux et matériaux, les engrais, les produits agricoles et produits pétroliers en catégorie 2 (17), les produits métallurgiques en catégorie 3 (10), les produits chimiques et pharmaceutiques en catégorie 4 (8) et finalement, en catégorie 5 se retrouvent les expéditions de produits divers (64).

Les données ont aussi été partitionnées selon la disposition du gestionnaire de transport à changer (74) ou refuser de changer (31) de solution de transport même si cela implique un changement de mode.

Enfin, les trois catégories d'unité de chargement correspondent respectivement aux chargements conventionnels sur camions et semi-remorques (97), aux conteneurs (11), et aux chargements en wagons et sur des barges (5).

La première étape de l'analyse empirique consiste néanmoins en une estimation globale sur base de l'ensemble de l'échantillon. Les résultats en sont donnés par les deux premières lignes du Tableau 2. La première ligne donne le coefficient de chaque attribut dans la fonction d'utilité linéaire ; ensuite le nombre d'observations dans l'échantillon⁸, le log de vraisemblance qui permet d'apprécier la vraisemblance globale de l'estimation, et les valeurs des statistiques d'Estrella et de Kendall. La statistique d'Estrella est un concept proche du R^2 traditionnel, qui mesure la qualité de l'ajustement de la fonction estimée par rapport aux observations⁹. Il convient mieux que le R^2 pour l'analyse de choix discrets. La statistique de Kendall mesure la corrélation entre le rang de préférence observé et le rang estimé¹⁰. Ici, le log de vraisemblance indique aussi une relation globale significative. Néanmoins, la statistique « Estrella » est assez faible, ce qui s'explique en partie par le biais habituel vers le bas résultant d'une application à des données de choix discrets individuels. Elle doit résulter aussi de l'hétérogénéité de l'échantillon. Le coefficient de corrélation de rang de Kendall indique un ajustement aux observations un peu meilleur. Toutefois, il témoigne également de l'hétérogénéité de l'échantillon, car sa valeur n'est que de 34 %.

⁸ Les nombres d'observations très élevés résultent du processus de décomposition des préférences. Pour obtenir (approximativement) le nombre d'interviews inclus dans un sous-groupe il suffit de diviser par 24.

⁹ Sa définition est donnée en Annexe.

¹⁰ Sa définition est donnée en Annexe. Ses valeurs correspondent ici à la moyenne des coefficients de Kendall calculés pour chacune des firmes d'un échantillon.

Tableau 2 : Estimation globale et par sous-groupes

Var.	Cat.	Fréq	Temps	Fiabil	Flex	Sécurité	Coûts	Nbr obs.	Log Vrais.	Estrella	Kendall moyen
Global		Coefficient	0,129	-0,016	0,036	0,016	0,033	-3,259	-5915	0,20	0,34
		<i>t valeur</i>	3,498	-4,666	14,765	7,442	11,552	-11,682			
Valeur	<6	Coefficient	0,130	-0,016	0,037	0,018	0,028	-7,026	-3383	0,20	0,33
	Eu./Kg	<i>t valeur</i>	2,785	-2,927	11,760	6,380	7,532	-8,487			
6 - 35		Coefficient	0,119	-0,015	0,043	0,017	0,028	-3,752	-1694	0,23	0,37
	Eu./Kg	<i>t valeur</i>	1,605	-2,897	8,739	4,009	5,339	-7,269			
>35		Coefficient	0,146	-0,022	0,026	0,012	0,068	-2,025	-804	0,32	0,43
	Eu./Kg	<i>t valeur</i>	1,429	-2,266	3,833	1,787	7,861	-6,391			
Distance	<300	Coefficient	0,116	-0,050	0,042	0,019	0,031	-3,705	-2736	0,23	0,37
	<i>t valeur</i>	2,154	-3,435	11,094	5,879	7,988	-9,268				
300-700		Coefficient	0,195	-0,017	0,029	0,011	0,028	-1,733	-1460	0,15	0,28
	<i>t valeur</i>	2,453	-2,524	6,292	2,393	4,974	-5,056				
700-1300		Coefficient	0,120	-0,010	0,036	0,013	0,037	-8,253	-1200	0,26	0,38
	<i>t valeur</i>	1,673	-2,180	6,386	2,719	5,783	-6,505				
>1300		Coefficient	0,069	-0,037	0,046	0,032	0,065	-22,932	-472	0,39	0,43
	<i>t valeur</i>	0,455	-3,639	5,160	3,864	5,930	-6,000				
Mode	Route	Coefficient	0,141	-0,034	0,037	0,019	0,034	-3,031	-4790	0,22	0,35
	<i>t valeur</i>	3,476	-5,279	13,616	7,551	10,624	-11,174				
Rail		Coefficient	0,066	0,000	0,072	0,009	0,017	-114,321	-454	0,49	0,57
	<i>t valeur</i>	0,588	-0,085	7,581	1,273	1,859	-8,093				
VN		Coefficient	-0,291	-0,032	0,017	0,012	0,060	-560,149	-253	0,79	0,73
	<i>t valeur</i>	-1,092	-3,649	1,665	1,161	4,414	-10,144				
Autres		Coefficient	0,186	-0,030	0,047	0,023	0,051	-10,410	-262	0,39	0,46
	<i>t valeur</i>	0,995	-3,074	3,561	2,137	3,027	-4,909				

Tableau 2 : Estimation globale et par sous-groupes (suite)

Var.	Cat.	Fréq	Temps	Fiabil	Flex	Sécurité	Coûts	Nbr obs.	Log Vrais.	Estrella	Kendall moyen
Si chang. de mode	.	Coefficient <i>t valeur</i>	0,037 <i>0,203</i>	-0,061 <i>-1,635</i>	0,062 <i>5,466</i>	0,008 <i>0,954</i>	0,021 <i>1,964</i>	-6,100 <i>-5,203</i>	168 <i>-377</i>	0,30	0,54
	Oui	Coefficient <i>t valeur</i>	0,124 <i>2,863</i>	-0,022 <i>-4,873</i>	0,037 <i>12,287</i>	0,019 <i>7,111</i>	0,035 <i>9,887</i>	-4,145 <i>-8,727</i>	1721 <i>-3937</i>	0,22	0,88
Catégorie de march.	Non	Coefficient <i>t valeur</i>	0,166 <i>2,193</i>	-0,008 <i>-1,493</i>	0,032 <i>6,853</i>	0,012 <i>2,735</i>	0,033 <i>5,981</i>	-2,254 <i>-6,095</i>	686 <i>-1586</i>	0,18	0,41
	Alimentaire	Coefficient <i>t valeur</i>	0,081 <i>0,706</i>	-0,046 <i>-2,165</i>	0,065 <i>7,834</i>	0,029 <i>4,481</i>	0,021 <i>2,492</i>	-18,864 <i>-8,245</i>	301 <i>-641</i>	0,43	0,50
...	Minéraux	Coefficient <i>t valeur</i>	0,132 <i>1,532</i>	-0,005 <i>-1,025</i>	0,033 <i>5,522</i>	0,022 <i>3,720</i>	0,027 <i>3,782</i>	-3,505 <i>-4,622</i>	396 <i>-913</i>	0,18	0,29
	Métallurgie	Coefficient <i>t valeur</i>	0,128 <i>0,864</i>	-0,035 <i>-2,272</i>	0,037 <i>4,943</i>	0,021 <i>3,102</i>	0,045 <i>4,523</i>	-74,669 <i>-7,661</i>	240 <i>-514</i>	0,44	0,51
Autres	Chimie- Pharma	Coefficient <i>t valeur</i>	0,119 <i>0,976</i>	-0,031 <i>-1,873</i>	0,049 <i>4,831</i>	0,011 <i>1,382</i>	0,040 <i>3,594</i>	-3,475 <i>-5,190</i>	192 <i>-424</i>	0,35	0,44
	Autres	Coefficient <i>t valeur</i>	0,145 <i>2,945</i>	-0,023 <i>-4,403</i>	0,035 <i>10,465</i>	0,016 <i>5,274</i>	0,035 <i>9,289</i>	-2,532 <i>-8,248</i>	1446 <i>-3332</i>	0,19	0,33
Unité de charge- ment 2	Semi- remorque	Coefficient <i>t valeur</i>	0,121 <i>3,061</i>	-0,018 <i>-4,592</i>	0,039 <i>14,396</i>	0,018 <i>7,407</i>	0,032 <i>10,258</i>	-3,152 <i>-11,508</i>	2191 <i>-5011</i>	0,22	0,35
	Container	Coefficient <i>t valeur</i>	0,330 <i>2,718</i>	-0,015 <i>-1,585</i>	0,029 <i>9,934</i>	0,014 <i>2,036</i>	0,059 <i>5,895</i>	-89,580 <i>-9,607</i>	264 <i>-557</i>	0,48	0,54
Autres	Autres	Coefficient <i>t valeur</i>	-0,035 <i>-0,150</i>	-0,030 <i>-2,053</i>	0,051 <i>4,388</i>	0,005 <i>0,549</i>	0,044 <i>3,293</i>	-380,316 <i>-9,373</i>	120 <i>-219</i>	0,74	0,67

La seconde ligne donne les valeurs de la statistique t affectant chaque coefficient. Elle mesure la vraisemblance d'un coefficient. On voit donc que les six coefficients sont bien significatifs et obtiennent les signes attendus (négatifs pour le Temps et le Coût, positifs pour les autres attributs). Malgré la dispersion des observations, nous pouvons donc considérer que l'estimation réalisée apporte des informations valables.

Les estimations suivantes par sous-groupes obtiennent toutes un rapport de vraisemblance hautement significatif (Tableau 3). Les valeurs « Estrella » sont plus élevées. Ceci pouvait être attendu, puisque les groupes formés tendent à être plus homogènes. Les coefficients de Kendall sont également plus élevés. Par contre, si la plupart des coefficients sont bien significatifs, ceux des coefficients de l'attribut Fréquence sont souvent peu significatifs. D'autres coefficients sont peu significatifs dans les sous-groupes chemin de fer et voie navigable.

Tableau 3 : Test de rapport de vraisemblances

Variable	Test	p-valeur	Valeur seuil à 5% de confiance
Valeur	67,80	3,4516E-15	21,03
Distan	94,73	2,2578E-19	28,87
Mode	312,24	8,984E-132	28,87
Si chang. de mode	30,34	0,00118294	12,59
Catégorie de marchandises	182,99	3,0698E-48	36,42
Unité de chargement	255,54	5,505E-119	21,03

$$\text{Test} = -2(L_{glob} - (L_1 + \dots + L_i)) \approx \chi_h^2$$

Cette partition de l'échantillon en sous-groupes ne résout certainement pas entièrement le problème de l'hétérogénéité des situations, car nous avons pu vérifier qu'une application directe du modèle à des ordres de préférence individuels livrait souvent des corrélations de rang bien supérieures, de l'ordre de 70 % pour certaines firmes (BEUTHE et alii, 2006). Quoiqu'il en soit, ces partitions et l'interprétation de leurs résultats montrent clairement combien les jugements peuvent différer selon les circonstances des envois et des firmes.

Les Tableaux 2 et 3 permettent surtout d'apprécier la qualité des estimations réalisées. On pourrait évidemment se baser aussi sur la comparaison des divers coefficients pour une interprétation fine des résultats. Toutefois, cette tâche est beaucoup plus aisée si l'on se base plutôt sur l'analyse du Tableau 4 suivant qui, se basant sur les résultats donnés au Tableau 2, présente les poids relatifs des divers facteurs dans la prise de décision des gestionnaires de transport.

Les poids attribués à chaque attribut dans ce Tableau 4 sont des poids moyens calculés par rapport aux variations des attributs dans chaque groupe (voir la définition en Annexe). Considérant la première ligne du tableau, qui

se réfère à l'échantillon global, on voit combien le Coût joue un rôle dominant dans la décision, car son poids est de 63,7 %. Le temps vient en second ordre d'importance avec un poids de près de 16 %. Le troisième facteur important est la Fiabilité avec un poids global de 8,5 %. Viennent ensuite la Flexibilité (5,6 %), la Fréquence (3,16 %) et la Sécurité (3,15 %).

Tableau 4 : Poids des attributs selon les partitions

Modèle		Fréqu	Temps	Fiabil	Flex	Sécurité	Coûts
Global		3,16%	15,92%	8,47%	5,63%	3,15%	63,67%
Valeur	<6 Eu./Kg	3,12%	10,72%	6,48%	6,16%	2,27%	71,25%
	6-35 Eu./Kg	2,70%	13,55%	9,31%	4,27%	2,47%	67,70%
	>35 Eu./Kg	5,59%	13,88%	4,16%	3,90%	9,18%	63,29%
Distance	<300	2,79%	9,48%	8,36%	6,38%	2,32%	70,67%
	300-700	8,11%	20,08%	6,89%	3,77%	3,97%	57,18%
	700-1300	2,07%	6,97%	6,18%	1,98%	2,61%	80,19%
	>1300	2,64%	19,99%	8,92%	6,95%	7,27%	54,23%
Mode	Route	3,90%	11,21%	8,64%	5,80%	3,64%	66,81%
	Rail	2,13%	0,62%	24,41%	2,73%	2,10%	68,01%
	VN	6,11%	21,57%	2,25%	4,19%	4,51%	61,38%
	Autres	5,56%	18,28%	5,21%	6,38%	4,98%	59,59%
Si changement	.	2,25%	15,65%	16,03%	4,52%	4,01%	57,53%
	Oui	2,56%	13,31%	5,71%	5,70%	2,86%	69,86%
	Non	7,57%	13,87%	13,68%	5,89%	4,35%	54,65%
Catégorie de marchandises	Alimentaire	1,89%	8,87%	6,48%	4,04%	1,58%	77,14%
	Minéraux ...	5,19%	8,25%	12,47%	12,26%	3,27%	58,56%
	Métallurgie	2,10%	6,89%	4,07%	2,52%	2,51%	81,91%
	Chimie-Pharma	3,16%	6,65%	9,75%	2,18%	3,05%	75,21%
	Autres	4,60%	14,40%	9,19%	5,60%	4,34%	61,88%
Unité de chargement	Semi-remorque	2,99%	17,81%	9,17%	4,97%	3,04%	62,02%
	Container	9,92%	7,55%	5,02%	3,48%	5,26%	68,76%
	Autres	0,93%	6,54%	9,37%	2,74%	4,68%	75,75%

Toutefois, de fortes variations apparaissent lorsque l'on considère les résultats par sous-groupes. Certes, le Coût reste le facteur dominant et obtient toujours un poids supérieur à 54 %, mais la Fiabilité peut prendre le pas sur le Temps de transport dans quelques cas et surtout pour les expéditions par chemin de fer. Par contre, la Fiabilité n'a qu'un rôle réduit pour la voie navigable et les autres combinaisons de transport. De façon plus générale, on observe des variations de poids non négligeables d'un groupe à l'autre.

Considérant plus en détail les coefficients des sous-groupes définis par rapport à la valeur de la marchandise, on voit que la rapidité (temps) et la sécurité jouent un rôle plus important pour des marchandises de valeur plus élevée, tandis que le coût perd de son importance pour celles-ci.

Par rapport aux catégories de distance, on doit constater qu'il n'y a pas de relations simples. En particulier, il apparaît que les envois sur de très courtes distances ou sur de très longues distances ont des exigences spécifiques. Ainsi, la flexibilité et la fiabilité pèsent plus lourd pour les envois sur ces distances extrêmes. Par contre, pour les envois sur des distances inter-

médiaires allant de 300 à 700 km, la fréquence et le temps prennent une importance plus grande. Le temps et la sécurité sont aussi très importants pour des envois sur de très longues distances. Dans tous les cas le coût du transport domine la prise de décision, mais il en est particulièrement ainsi pour les courtes distances et celles entre 700 et 1 300 km.

Par rapport aux modes de transport, on constate que le coût joue un rôle plus important pour les expéditeurs par voie ferrée et par route. La fréquence et le temps ont de l'importance pour les chargeurs sur la voie d'eau et les combinaisons intermodales diverses. La fiabilité a quelque importance pour les chargeurs de la route, mais obtient un poids très lourd pour les chargeurs de la voie ferrée. Pour ces derniers, les autres qualités de service ne semblent pas les préoccuper beaucoup.

Par rapport aux catégories de marchandises, on observe que le coût joue un rôle très important pour les produits pondéreux de la métallurgie, et dans une moindre mesure pour le secteur alimentaire et chimique. La fiabilité et la flexibilité sont des facteurs relativement importants pour le transport de minéraux. Quant aux unités de chargement, les expéditeurs de conteneurs donnent une plus grande importance au coût de transport ainsi qu'à la sécurité et la fréquence des services. Pour les envois en semi-remorques, la fiabilité est très appréciée ainsi que la rapidité.

Enfin, les chargeurs qui envisageraient de changer de mode, les plus nombreux, sont particulièrement attentifs au coût du transport. Les chargeurs qui n'envisagent pas de changer de mode portent davantage d'importance aux qualités des services offerts. Un certain nombre d'entreprises n'ont pas répondu à la question portant sur leur attitude au changement.

Une autre façon d'interpréter les résultats est de calculer les valeurs monétaires équivalentes des différents attributs. Ainsi qu'on le sait, ces valeurs peuvent être simplement calculées pour chaque attribut qualitatif par le rapport de son coefficient à celui du coût de transport. Elles mesurent les montants monétaires maxima par tonne-km ou par tonne que les firmes pourraient être prêtes à payer pour obtenir une meilleure qualité de service, par exemple un transport plus rapide ou une fiabilité plus grande. Réciproquement, elles mesurent le coût pour les firmes d'une détérioration de la qualité, c'est-à-dire la réduction de tarif qu'elles pourraient vouloir exiger. Ces valeurs sont présentées dans le Tableau 5.

Il faut noter que, à la différence des poids présentés dans le Tableau 4, les valeurs monétaires des différents attributs ne peuvent pas être vraiment comparées, car elles se réfèrent à des attributs définis en unités non comparables. En effet la valeur d'une variation du nombre d'heures ne peut être comparée en valeur à celle de la variation du pourcentage de fiabilité. Ceci dit, on voit dans le Tableau 5 que ces valeurs par tonne-km varient fortement d'un groupe à l'autre. Les valeurs les plus basses et proches de

zéro sont données par des firmes qui utilisent la voie d'eau, c'est-à-dire le mode 3, sauf pour la valeur du Temps, qui est légèrement plus basse pour le chemin de fer. A vrai dire, de ce point de vue, il n'y a pas grande différence entre ces deux modes. La valeur la plus élevée pour la Fréquence est de 0,1123 € pour des distances comprises entre 300 et 700 km, celle de la Fiabilité atteint 0,0167 € pour la même catégorie, celle de la Flexibilité vaut 0,0063 € pour les marchandises diverses, celle de la Sécurité atteint 0,0335 € pour des marchandises de haute valeur, tandis que la valeur du Temps atteint 0,0134 € pour les distances les plus courtes.

Tableau 5 : Valeurs des attributs de transport

Var.	Cat.	Fréqu (par jour)	Fiabil (par point de %)	Flex (par point de %)	Sécurité (par point de %)	Temps en €par tonne- km par heure	Temps en €par tonne par heure pour la dist. méd.	Distance mé- diane (en Km)	Taille mé- diane d'en- voi (en Tonne)	Temps mé- dian
Global		0,0394	0,0112	0,0051	0,0101	0,0050	1,590	320	20	11
Valeur	<6 Eu./Kg	0,0185	0,0052	0,0026	0,0040	0,0022	0,696	310	24	6
	6 - 35	0,0316	0,0116	0,0045	0,0074	0,0040	1,006	253	13	19
	>35	0,0721	0,0130	0,0057	0,0335	0,0106	6,902	650	18	24
Distance	<300	0,0313	0,0113	0,0052	0,0084	0,0134	1,627	121	20	3
	300-700	0,1123	0,0167	0,0061	0,0160	0,0097	4,196	433	20	11
	700-1300	0,0146	0,0043	0,0016	0,0045	0,0012	1,088	900	20	48
	>1300	0,0030	0,0020	0,0014	0,0028	0,0016	2,248	1386	15	48
Mode	Route	0,0464	0,0123	0,0062	0,0111	0,0112	3,095	277	19	6
	Rail	0,0006	0,0006	0,0001	0,0002	0,0000	0,004	991	28	48
	VN	0,0005	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,009	151	725	48
	Autres	0,0179	0,0045	0,0022	0,0049	0,0029	2,899	1015	19	72
Si chang. de mode	.	0,0060	0,0101	0,0014	0,0035	0,0101	2,090	208	21	14
	Oui	0,0299	0,0090	0,0047	0,0084	0,0054	1,859	343	20	13
	Non	0,0738	0,0141	0,0052	0,0147	0,0034	1,289	380	19	11
Catégorie de march.	Alimentaire	0,0043	0,0035	0,0016	0,0011	0,0024	0,449	185	15	3
	Minéraux ...	0,0377	0,0093	0,0062	0,0078	0,0015	0,180	123	25	4
	Métallurgie	0,0017	0,0005	0,0003	0,0006	0,0005	0,218	468	25	13
	Chimie- Pharma	0,0342	0,0142	0,0032	0,0115	0,0089	2,611	294	13	25
	Autres	0,0574	0,0137	0,0063	0,0139	0,0090	3,994	443	19	24
Unité de chargemen	Semi-re- Conteneur	0,0382	0,0124	0,0057	0,0100	0,0057	1,716	301	20	8
	Autres	0,0037	0,0003	0,0002	0,0007	0,0002	0,150	876	24	24
	Autres	0,00009	0,00013	0,00001	0,00012	0,00008	0,031	400	1000	48

* Les valeurs pour chaque attribut qualitatif sont les quotients de leurs coefficients (Tableau 2) par rapport à celui du coût.

Pour la valeur du Temps, qui a fait l'objet de nombreuses études avec des résultats variés, sa valeur a aussi été calculée par tonne pour les transports de distance médiane de chaque sous-groupe. On voit ainsi que les firmes qui utilisent le chemin de fer ne seraient disposées à payer que 0,004 € par tonne pour gagner une heure de temps pour un transport de 991 km. Par contre, pour des marchandises de haute valeur, les firmes seraient prêtes à payer 6,89 € en plus par tonne pour gagner une heure sur un parcours de 650 km. La valeur du Temps attribuée aux transports par route s'élève à 3,102 € par tonne sur une distance moyenne de 277 km.

Pour obtenir les valeurs par tonne des autres attributs pour un transport moyen, il suffit de multiplier les coefficients de ce Tableau par la distance

médiane du transport. Ainsi, les chargeurs utilisant la route seraient donc prêts à payer $(277 * 0,0123) = 3,41$ € par tonne pour un pour-cent d'augmentation de la Fiabilité, 12,85 € pour un jour de plus de Fréquence de service, et 3,08 € pour une sécurité augmentée d'un pour-cent. Des calculs semblables peuvent être faits à partir du Tableau 5 pour les autres sous-groupes analysés.

Afin de bien comprendre la portée de ces résultats, le Tableau 5 indique dans ses trois dernières colonnes quel est le type de transport auquel chaque ligne se réfère, c'est-à-dire quelles est la distance parcourue, quelle est la taille de l'envoi et quelle est la durée de transport. Ces éléments sont importants lorsque ces valeurs sont comparées à celles d'autres études, car, par exemple, la distance de transport considérée peut substantiellement influencer ce qu'un chargeur est disposé à payer pour gagner une heure de temps de transport. C'est, malheureusement, une information souvent manquante dans les études publiées.

5. EN GUISE DE CONCLUSION

A ce stade de notre recherche, il nous paraît clair que l'importance et la valeur qu'un gestionnaire de transport peut attribuer à une caractéristique d'un transport, sa fiabilité par exemple, dépend d'un grand nombre de facteurs, la nature de la marchandise, sa valeur, la distance, la logistique interne et externe de l'entreprise, etc. La variété des résultats obtenus ci-dessus, tout comme l'analyse d'un certain nombre de cas individuels que nous avons réalisée par ailleurs, témoigne de cette hétérogénéité.

Ceci explique aussi la grande dispersion des résultats obtenus et publiés dans la littérature scientifique, par exemple parmi ceux rassemblés par DE JONG et alii (2000 ; 2004). Certes, une partie de cette dispersion s'explique par des différences méthodologiques. Toutefois, les échantillons analysés diffèrent grandement d'une étude à l'autre. D'une part, en transport de marchandises, il se révèle assez difficile de rassembler des échantillons aussi grands que désirables pour une analyse de préférences déclarées. D'autre part, et plus fondamentalement, les transports repris dans les divers échantillons se différencient fortement par leurs caractéristiques, c'est-à-dire la distance parcourue et la destination, le tonnage transporté, la marchandise et sa valeur, la configuration du réseau parcouru, et les entreprises elles-mêmes. Il n'est donc pas surprenant que l'on obtienne des valeurs assez différentes d'une étude à l'autre.

Malheureusement, ces constatations ne sont pas de nature à faciliter la tâche de l'analyste qui veut, à juste titre, introduire des valeurs du temps, de la fiabilité, etc., dans une modélisation économique d'un réseau de transport ou pour l'évaluation d'un projet d'infrastructure. En effet, il importe d'être attentif aux différences de valeurs attribuées par les chargeurs telles qu'elles sont apparues dans notre étude. Plutôt que d'introduire des valeurs moyennes, il convient de tenir compte, autant que faire se peut, du fait que ces va-

leurs varient selon le mode que les chargeurs utilisent, selon les marchandises transportées, etc. Il serait évidemment fort utile que davantage de recherches bien documentées soient consacrées à ce problème de façon à permettre une meilleure modélisation des transports et une meilleure approche de la logistique des entreprises.

Quoiqu'il en soit, cette étude indique clairement que si le choix d'une solution de transport est dominé par le facteur coût, les autres facteurs qualitatifs pris ensemble ont également un poids relatif non négligeable, pouvant atteindre 45 % dans certains cas. Parmi ces facteurs, ce sont le temps de transport et sa fiabilité qui apparaissent les plus importants. Dans le contexte de la recherche d'un meilleur équilibre entre les divers modes de transport de marchandises, cette constatation suggère un levier important dans la concurrence entre modes : la qualité des services offerts. Il ne suffit pas de réfléchir et de modéliser en termes de l'impact des prix sur la demande, c'est-à-dire en termes des élasticités de la demande par rapport au prix, il faut aussi considérer l'impact de la qualité des services offerts. Une politique et une gestion des transports centrées davantage sur les aspects qualitatifs des services pourraient substantiellement contribuer à une meilleure répartition modale.

BIBLIOGRAPHIE

ADDELMAN S. (1962) Orthogonal main-effect plans for asymmetrical factorial experiments. *Technometrics*, Vol. 4, pp. 21-46.

AITCHINSON J., SILVEY S. (1957) The generalization of probit analysis to the case of multiple responses. *Biometrika*, Vol. 44, n° 1-2, pp. 131-140.

ASHFORD J.R. (1959) An approach to the analysis of data for semi-quantal responses in biological response. *Biometrics*, Vol. 15, n° 4, pp. 573-581.

BERGVIST E. (1998) **Valuation of time in Swedish road freight, The difference between internal and external transport services**. University of Umea, Sweden (Umea Economic Studies n°488).

BEUTHE M., BOUFFLOUX Ch., KRIER C., MOUCHART M. (2006) **A comparison of conjoint, multi-criteria, conditional logit and neural network analyses for rank-ordered preference data**. rapport de recherche GTM-FUCAM.

CARMONE F.J., SCHAFFER C.M. (1995) Review: Bretton-Clark, CONSURV, and ACA. *Journal of marketing research*, Vol. 32, pp. 113-120.

CARROLL J.D., GREEN P.E. (1995) Psychometric methods in marketing research: Part I, Conjoint Analysis. *Journal of Marketing Research*, pp. 385-390.

CRAMER J.S. (1991) **The logit model**. Edward Arnold.

DANIELIS R. (Ed.) (2002) **Freight transport demand and stated preference experiments**. Milan, Franco Angeli.

- DANIELIS R., MARCUCCI E., ROTARIS L. (2005) Logistics managers' stated preferences for freight service attributes. **Transportation Research E**, Vol. 41, pp. 201-215.
- DE JONG G. (2000) Value of freight travel time savings. In D.A. HENSHER, K.J. BUTTON (ed.) **Handbook of transport modelling**. Amsterdam, Elsevier.
- DE JONG G., BAKKER S., PIETERS M. (2004) **Hoofdonderzoek naar de reistijdwaardering in het goederen vervoer**. Leiden, RAND Europe, SEO et Veldkamp/NIPO, Rapport 03141.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (UK) (2002) **Economic valuation with stated preference technique: A Manual**. Cheltenham, Edward Elgar.
- ESTRELLA A. (1998) A new measure of fit for equations with dichotomous dependent variables. **Journal of Business and Economic Statistics**, Vol. 16, n° 2, pp. 198-205.
- GREEN E., SRINIVISAN V. (1990) Conjoint analysis in marketing: New developments with implications for research and practice. **Journal of Marketing**, Vol. 54, pp. 3-19.
- HUBER J., ZWERINA K. (1996) The importance of utility balance in efficient choice set designs. **Journal of Marketing Research**, Vol. 33, pp. 307-317.
- INRETS (2000) **Intermodal quality - Final report for publication**. Bruxelles, 4th Framework Programme of the European Commission, European Commission.
- JOVICIC G. (1998) **Application of models based on stated and revealed preference data for forecasting Danish international freight transports**. Aalborg, Tetraplan AS.
- LOUVIERE J.J., HENSHER D.A., SWAIT J. (2000) **Stated choice methods: Analysis and application (in marketing, transportation and environmental valuation)**. Cambridge University Press.
- LOUVIERE J.J., STREET D. (2000) Stated-preference methods. Chap. 8. In D.A. HENSHER, K.J. BUTTON (ed.) **Handbook of transport modelling**, Amsterdam, Elsevier, pp. 132-143.
- LUCE R.D. (1959) **Individual choice behaviour**. New York, Wiley.
- LUCE R.D., SUPPES P. (1965) **Handbook of mathematical psychology, III**. New York, Wiley.
- MADDALA G.S. (1983) Limited-dependent and qualitative variables in econometrics. **Econometric Society monographs** n° 3, Cambridge University Press.
- MATEAR S., GRAY S. (1993) Factors influencing freight service choice for shippers and freight suppliers. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, Vol. 23, n° 2, pp. 25-35.

McFADDEN D. (1974) Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. In P. ZAREMBKA (ed.) **Frontiers in econometrics**. New York, Academic Press.

OPPEWAL H. (1995a) A review of conjoint software. **Journal of retailing and consumer services**, Vol. 2, n° 1, pp. 56-61.

OPPEWAL H. (1995b) A review of choice-based conjoint software: CBC and MINT. **Journal of retailing and consumer services**, Vol. 2, n° 4, pp. 259-264.

STRATEC (1999) **Final report of Task 2, Project “Integration of intermodal transport in the supply chains”**. Bruxelles, European Commission DG VII. STRATEC.

VON WINTERFELDT D., EDWARDS W. (1973) **Evaluation of complex stimuli using multi-attribute utility procedures**. Ann Arbor, Engineering psychology laboratory, University of Michigan.

ANNEXE

FORMULE DE ESTRELLA

$$R_{E1}^2 = 1 - \left(\frac{L}{L_0}\right)^{-\frac{2}{N}L_0}$$

où L_0 est le log de la vraisemblance calculé avec tous les paramètres fixés à zéro.

Bien que cette statistique soit comprise entre les valeurs extrêmes de 1 et 0, elle tend à être assez réduite, comme d’ailleurs la statistique de McFadden et le R^2 , dans les cas d’estimation de probabilités calculées sur des données individuelles de choix discrets. Sur sa signification dans ce contexte, voir CRAMER (1991 : ch. 5).

FORMULE DE KENDALL

Le coefficient de corrélation de rang de Kendall est produit à partir de la procédure CORR de SAS. C’est une mesure d’association entre un rangement observé et un rangement prédit. Le taux est calculé pour un nombre n de paires (X, Y) comme le nombre de paires concordantes (Nc) moins le nombre de paires discordantes (Nd), divisé par le nombre total de paires.

$$\tau_K = \frac{(Nc - Nd)}{[n(n-1)/2]}$$

Comme un coefficient de corrélation usuel, il varie entre -1, pour une corrélation parfaitement inverse, et +1 pour une corrélation de rang parfaite. Pour cette recherche, ce coefficient est calculé séparément pour chaque firme appartenant à un même groupe; la moyenne des coefficients individuels est ensuite calculée.

FORMULE DES POIDS

Etant donné une fonction d'utilité

$$U = \sum_{i=1}^6 \beta_i x_i$$

le poids pour chaque critère (attribut) $j, j=1, \dots, 6$ est

$$w_j = \frac{|\beta_j|(x_j^* - x_{*j})}{\sum_{i=1}^6 |\beta_i|(x_i^* - x_{*i})}$$

où x_j^* et x_{*j} sont respectivement les valeurs maximum et minimum de la variable.