

Programme "Mobilité Durable"

Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles

Vers une Mobilité Durable: Effets Economiques et spatiaux d'un transport de marchandises en augmentation

Rapport Final du Groupe Transport et Mobilité
Contrat MD/17/002, 1/12/96 au 30/04/01

Michel Beuthe et Bart Jourquin
Facultés Universitaires Catholiques de Mons
151, Ch. de Binche, B-7000, Mons
Tel: 065-323296, Fax: 065-315691
Gt&m@fucam.ac.be

Résumé des travaux

Dans le cadre du réseau de recherche formé par L'UFSIA, le département de Géographie de l'UCL et le Groupe Transport et Mobilité (GTM) des FUCAM pour étudier les "Effets économiques et spatiaux d'un transport de marchandises en augmentation", GTM était chargé du développement d'une analyse du réseau multimodal belge de transport de marchandises, afin de pouvoir évaluer les impacts socio-économiques que pourraient avoir divers investissements ou politiques de transport.

L'approche suivie par GTM fut de continuer le développement du software de simulation NODUS qui avait déjà permis un certain nombre d'études. Ce software est basé sur une modélisation très détaillée des réseaux trans-européens des chemins de fer, des routes et des canaux, et même du cabotage maritime européen. Toutes les opérations de transport y sont identifiées par mode et moyen (train diesel ou train électrique, etc.) et leurs coûts tenus en compte séparément, y compris les coûts de transfert d'un mode ou d'un moyen de transport à un autre. Ceci permet, en particulier, d'analyser les solutions de transport intermodal. Par la minimisation des coûts généralisés des tâches de transport, définies par une matrice d'origines et destinations, le software trouve les solutions les moins coûteuses, en ce compris éventuellement des combinaisons de moyens et modes. Comme les paramètres des fonctions de coût et les caractéristiques des réseaux peuvent être modifiés selon les besoins, des simulations sont possibles qui portent sur des politiques de prix et de taxation, sur des plans d'investissement ou d'organisation des réseaux avec des contraintes d'utilisation.

Le programme de travail de GTM consistait donc à continuer le développement de ce software afin qu'il puisse être d'une utilisation plus commode et qu'il permette certaines analyses plus fines. En second lieu, il s'agissait de compléter en détail la définition des différents réseaux belges. Enfin, le software devait être utilisé pour réaliser un certain nombre d'analyses appliquées, en particulier une étude des impacts que pourrait avoir une internalisation des effets externes du transport de marchandises.

Pour ce qui concerne le développement du software NODUS, un certain nombre de tâches ont pu être réalisées. NODUS a été complètement réécrit pour en faciliter l'utilisation par des analystes externes et pour le rendre portable sur diverses plates-formes informatiques: Windows, Linux, Unix, Open VMS. Le programme a été complété de façon à pouvoir traiter toutes les opérations à l'intérieur d'un terminal. Les algorithmes de calcul ont été ajustés pour réduire les temps de calcul. Un guide d'utilisation très complet a été rédigé.

NODUS a été utilisé pour l'analyse de plusieurs problèmes. En premier lieu, celui de la régulation du transport routier de marchandises à travers la Suisse, en collaboration avec le Ministère suisse des transports. Ce qui a permis de démontrer l'impact considérable qu'avait la limitation des camions à 28 tonnes sur le choix modal; ce qui a permis aussi de calculer les péages qu'il serait nécessaire d'introduire pour maintenir le statu quo actuel en cas de suppression de la limitation de tonnage.

Pour ce qui concerne l'intermodalité, les terminaux et leur configuration, deux cas ont été étudiés: ceux du "freightway" ferroviaire entre Muizen(B) et Sibelin(F), et celui de l'établissement d'un "hub" ferroviaire au nord-est de Paris. Ces analyses permettent d'étudier la bonne définition des réseaux intermodaux et d'établir des prévisions sur les volumes qu'ils peuvent attirer.

La spécification des réseaux belges ayant été affinées, un certain nombre de simulations relatives à différents plans wallons d'investissement en infrastructure ont été réalisées sur base de matrices d'origines et destinations détaillées et de prévisions établies par les consultants STRATEC et ADE. Ce travail était destiné au Ministère de l'équipement et des transports de la Région Wallonne (MET).

A partir de l'étude précédente, GTM a pu mener une étude systématique des élasticités modales directes et croisées de la demande de transport des diverses catégories de marchandises. Ces résultats, dérivés à partir d'un ensemble de simulations, sont particulièrement intéressants car très peu d'études empiriques existent sur ce problème important. De plus la méthodologie adoptée constitue une innovation dans le domaine.

Enfin, GTM a mené une étude approfondie des estimations disponibles dans la littérature scientifique des coûts externes des transports qui résultent des pollutions, de la congestion, du bruit et des accidents. Les estimations les plus récentes ont été utilisées pour simuler les impacts d'une internalisation de ces coûts par une tarification au coût marginal social. Il est apparu ainsi que cela provoquerait une substitution importante des transports ferroviaires et par voies navigables aux dépens du transport routier, avec, en conséquence, une diminution des divers effets externes et des coûts sociaux totaux.

Nous notons encore que GTM a continué ses recherches dans le domaine des analyses coûts-bénéfices et multicritère des investissements publics. Ces recherches avaient été initiées dans le cadre du programme "Mobilité" précédent des SSTC. Elles se sont centrées sur la tenue en compte dans la prise de décision du risque encouru du fait des résultats incertains qui peuvent être associés à un projet.

Executive summary

In the framework of the research network formed by UFSIA, the UCL Department of geography and the FUCAM Groupe Transport et Mobilité (GTM) in order to study the "Economic and spatial effects of increasing freight transports", GTM was in charge of the development of a multimodal network analysis of the freight flows in Belgium. The purpose of this research was to contribute a tool for assessing the socio-economic impacts of various investments and transport policies.

The approach taken by GTM was to continue the development of the simulation software NODUS that was used earlier for a set of case studies. This software is based on a detailed modelling of the trans-European networks of roads, rails and waterways as well as short-sea shipping lines. All transport operations are identified per mode and means (diesel train or electrical train, etc.), and their costs accounted for separately, including the costs of transferring from one mode or means to another. This set-up allows an analysis of intermodal solutions. By minimising the generalised cost of transport tasks, defined by a matrix of origins and destinations, the software finds the least costly solutions, which may very well be combinations of different modes and means. Since the parameters of the cost functions and the networks characteristics can be changed according to needs, it is possible to simulate what would result from an implementation of various transport policies, investment plans, and network organisations with specific constraints.

GTM's work program was then to continue the development of this software in order to facilitate its use and allow more complete analyses. Secondly, it was necessary to improve the detailed definition of the Belgian networks. Lastly, the software was to be used for a certain number of case studies, and in particular for an analysis of possible impacts of a pricing policy based on the internalisation of freight transport external effects.

For what concerns the software NODUS, a number of tasks were completed. NODUS was completely re-written to facilitate its use by external analysts and to make it available for various computing platforms: Windows, Unix, Linux, Open VMS. The program was completed for allowing the handling of terminal operations. The computing algorithms was revised in order to increase the computation speed. A comprehensive user's guide was written.

NODUS has been applied to study a set of problems. First, the problem of regulating the road freight flows across Switzerland, with the helpful co-operation of the Swiss Ministry of transports. This study showed how important was the impact of the Swiss restriction of 28

tons trucks on the trucking flows in that country. It allowed to compute also the levels of tolls that would be necessary to maintain the "statu quo" on the Swiss roads in case the limitation was cancelled.

Two cases concerning terminal operations, intermodality and the configuration of networks were studied: the rail "freightway" between Muizen (B) and Sibelin (F), and the planning of a hub-and-spoke network at the North-East of Paris. These analyses allow to determine a good definition of intermodal networks , and to forecast the transport flows they can attract.

After a thorough review of the Belgian freight networks definition, a number of simulations related to various plans of infrastructure investments were realised on the basis of forecasts and detailed matrixes of origins and destinations, which were built up by the consultants STRATEC and ADE. This work was done for the Walloon Ministry of transports in order to better assess the need of new infrastructures for freight transports.

On the basis of the preceding study, GTM was able to systematically estimate the direct and cross-elasticities of transport demand for different categories of commodity. These results, derived from appropriate simulations, are particularly interesting because empirical results on these important elasticities are very few. Moreover, the adopted methodology was an innovation in that field of research.

Finally, GTM has conducted an extensive review in the scientific literature of the available estimates of external costs of transports resulting from pollution, accidents, noise and congestion. The best available estimates were used for simulating the possible impacts of a marginal social cost transport pricing policy. It turned out that such a policy would induce a substitution of rail and inland waterway transports at the expense of road transport, with a sizeable decrease of various external effects and total social costs.

We should note also that, in the meantime, GTM continued researches in cost-benefit and multicriteria analysis of public investments. These researches were started in the framework of the previous SSTC-DWTC research program on Mobility. They were focused on the integration of risk into the decision making process and the computation of the risk premium which corresponds to the uncertain outcomes of projects.

1.Introduction: Le projet de recherche

Dans la problématique du développement économique durable de la Belgique et de l'Europe, il est évident que le transport de marchandises, tout comme celui des personnes, est la source d'effets négatifs coûteux pour la société. Ces effets diminuent non seulement sa productivité réelle, mais mettent en cause aussi son fonctionnement et le bien-être des populations. Qu'il s'agisse des polluants, du bruit, des accidents, des temps perdus dans la congestion des réseaux ou des dommages causés à l'infrastructure, il importe de bien les identifier, de les mesurer, et d'examiner les moyens de les limiter de façon appropriée, afin de permettre un développement économique durable.

Le projet formé par le groupe de recherche, qui rassemble des chercheurs de l'UFSIA, du Département de géographie de l'UCL et du Groupe Transport et Mobilité(GTM) des FUCAM est d'analyser les impacts des transports dans un contexte spatial et multimodal. Le transport s'effectuant dans un espace qui n'est pas uniforme, il importe en effet de tenir compte des caractéristiques et de la densité de l'infrastructure et des services offerts. Il importe, en outre, de tenir compte des choix modaux qui déterminent dans une large mesure les effets externes des transports. Les compétences en matière d'analyse spatiale des membres de ce groupe de recherche permettent effectivement d'appréhender ces impacts de plusieurs manières: par l'approche du Modèle Interrégional multimodal (MIM) développé dans le cadre du programme de recherche 'Transport et mobilité', par celle d'un Système d'Information Géographique (SIG), et par celle d'une analyse multimodale de réseaux de transport avec le logiciel NODUS développé par GTM-FUCAM.

L'approche suivie par GTM est évidemment centrée sur le développement continué du software NODUS (Jourquin, 1995 et Jourquin et Beuthe,1996), qui réalise une modélisation très détaillée des réseaux de transport, de telle façon que toutes les opérations de transport sont identifiées et leurs coûts tenus en compte. Il permet ainsi de trouver les solutions de transport les moins coûteuses par une recherche systématique des routes, des modes et des moyens de transport qui minimisent les coûts généralisés, en ce compris toutes les combinaisons de modes et de moyens (Demilie *et al.*, 1997). L'analyse rigoureuse des solutions intermodales, de leurs coûts et de leur compétitivité sur certaines routes, devient donc possible. Ce software permet aussi de réaliser des simulations correspondant à différentes politiques de prix, ou d'organisation des réseaux avec des limites de tonnage ou des contraintes d'utilisation. De tels résultats permettent donc de formuler et d'évaluer de façon comparative des plans de transport et d'infrastructure ou des politiques de transport.

Certains d'entre eux constituent d'ailleurs des inputs indispensables à des analyses coûts-bénéfices ou multicritère d'évaluation. Cette modélisation des transports constitue donc un outil précieux d'information et de décision, en particulier pour les autorités publiques mais aussi pour les transporteurs eux-mêmes. Elle mérite donc d'être développée encore davantage et appliquée au problème de mobilité durable.

La démarche suivie par GTM comporte ainsi trois aspects principaux. En premier lieu, le développement continué de NODUS afin qu'il puisse mieux réaliser les analyses empiriques souhaitées; en second lieu, son application aux réseaux belges intégrés dans les réseaux trans-européens; enfin son utilisation pour analyser certaines politiques de transport, et, en particulier, celle d'une internalisation des effets externes du transport de marchandises. Cette application particulière suppose évidemment une revue approfondie des effets externes eux-mêmes ainsi que de leur valorisation.

2. Méthodologie: Le software NODUS

NODUS offre les fonctions de base d'un système d'information graphique, mais permet surtout la création automatique d'un réseau virtuel composé de segments correspondant à chaque opération de transport: chargements et déchargement, transferts entre modes et moyens, opérations de transit aux frontières, opérations de triage et d'assemblages de trains dans les terminaux, etc. Il est donc capable de traiter les problèmes de transports multimodaux et intermodaux, ainsi que de distinguer les différents types de marchandises. NODUS inclut un éditeur de fonctions de coût; il est aussi un software ouvert qui permet l'utilisation de programmes externes selon les besoins des analystes.

L'extension du réseau géographique réel au réseau virtuel qui le représente implique la création d'un réseau de très grande dimension. Ainsi, dans une des études réalisées, à partir d'un réseau comprenant 17.000 segments, NODUS a généré 265.000 segments virtuels. Il en résulte qu'il importe d'optimiser ses calculs afin d'en réduire le temps et de pouvoir traiter des problèmes complexes demandant des itérations successives.

Ce software a été complètement réécrit de façon qu'il puisse être portable sur d'autres plates-formes que le PC Windows. Il est maintenant disponible aussi pour Unix, Linux et Open VMS. Xview, Xt et Motif GUI peuvent être utilisés avec Unix et Linux. Toutes les fonctions du software sont présentes dans toutes les versions et des projets peuvent être échangés facilement entre les diverses versions. Un effort a été fait pour le rendre aussi facile d'utilisation que possible pour des utilisateurs externes. Le software a aussi été complété afin

de pouvoir traiter toutes les opérations à l'intérieur d'un terminal de réseau en étoile, ce qui est important si l'on veut traiter les problèmes de l'intermodalité. Ce travail a été en partie réalisé dans le cadre du programme de recherche de la Commission Européenne TERMINET. Le lecteur trouvera dans la bibliographie deux références aux travaux de ce programme (Jourquin, 1998b, et Jourquin *et al.*, 1998).

Au cours du projet, les algorithmes de calcul ont été ajustés par étapes successives de façon à réduire les temps de calcul. Actuellement, grâce à l'utilisation d'une station "Sun Microsystems" sur Unix, ces améliorations permettent de réduire le temps d'une simulation à 5 minutes pour une simulation qui prenait initialement 45 minutes. Ces recherches afin de réduire le temps de calcul et de faciliter l'utilisation du software sont toujours en cours. Trois pistes de recherche sont suivies:

- la mise au point d'algorithmes de régression de réseau qui doivent permettre de réduire la complexité des réseaux virtuels tout en gardant l'ensemble des informations disponibles;
- la connexion de Nodus à des bases de données via une passerelle SQL/ODBC;
- l'intégration d'algorithmes d'affectation qui tiennent compte des contraintes de capacité ou, de manière plus générale, la recherche de routes alternatives (Koul à Ndjang'Ha et S.Haubruege, 2001).

Un guide d'utilisation de NODUS a été rédigé en français (Jourquin, 1998a) et en anglais (Jourquin,1998b) afin de pouvoir mettre ce software à la disposition des autres équipes du groupe de recherche, mais aussi des équipes internationales avec qui nous collaborons. Pour le moment, NODUS est utilisé dans le cadre de deux thèses de doctorats aux Universités de Lyon et de Stockholm. NODUS a aussi été installé au Ministère de l'Equipement et des Transports de la Région Wallonne.

3. Les résultats des applications

3.1 Le problème de la régulation des transports de marchandises.

Un premier article avait été préparé sur cette question, "On the Crossing of the Alpine Chain and the Swiss regulation of Trucking" (Demilie *et al.*,1998b). Cette recherche a été continuée à la demande du Ministère suisse des transports, qui nous a procuré des informations plus détaillées. Elle a mené à la publication d'un article supplémentaire intitulé "The international Impacts of a New Road Taxation Scheme in Switzerland" (Beuthe *et al.*, 1999). C'était aussi une contribution au groupe de recherche COST 328 de la Commission Européenne. Voir aussi l'article de synthèse de Jourquin et Beuthe (2000)

Ces recherches ont montré que la limitation des camions en Suisse à un tonnage de 28 tonnes avait un impact considérable et que sa suppression impliquait l'addition de taxes d'utilisation du réseau suisse supérieure à ce qui était envisagé, du moins si l'on veut maintenir la situation actuelle. Il apparaissait aussi combien ces politiques, visant à limiter le trafic à travers la Suisse, détournaient les transports vers un passage à travers l'Autriche et la France, et incitaient à substituer le rail à la route.

3.2 Les problèmes de l'organisation et de l'implantation de terminaux multimodaux,

Ces problèmes étaient posés dans le cadre de notre participation au programme européen TERMINET. Leur analyse supposait des modifications et améliorations du software NODUS, comme indiqué ci-dessus.

Deux applications ont été réalisées. La première examinait la problématique de la liaison ferroviaire pour marchandises entre Muizen (B), Bettembourg (L), Sibelin (F) et Genova (I), mise en service par les chemins de fer européens, et du rôle joué par les terminaux de cette ligne. Parmi les résultats de cette étude (Jourquin *et al.*, 1999), il apparaissait que seule la liaison entre Muizen et Sibelin attirait un trafic important, et que le terminal de Bettembourg ne jouait qu'un rôle subsidiaire.

La seconde application concernait l'établissement d'un réseau en étoile à partir d'un hub au nord-est de Paris (Demilie et al., 1998). Par une suite de simulations avec des configurations de réseau différentes, il était possible de faire ressortir les liaisons entre Paris et les provinces qui seraient susceptibles d'être organisées de façon rentable. Ces deux applications ont démontré le potentiel d'analyse de cette modélisation pour les problèmes de constitution de réseaux de consolidation.

3.3 La modélisation détaillée du réseau belge de transport de marchandises

Le réseau belge est inséré dans le réseau multimodal trans-européen. Ce travail a été réalisé avec l'aide des consultants STRATEC et ADE dans le cadre d'un contrat avec le Ministère de l'Équipement et des Transports de la Région Wallonne (Geerts et Jourquin, 2001). Cette modélisation comprend toutes les liaisons ferroviaires et fluviales ainsi que toutes les routes d'au moins sept mètres de large. Le détail des attributs associés aux nodes descend jusqu'au niveau des communes. Sur base des matrices d'origines et destinations fournies par les consultants, nous avons calibré les fonctions de coûts du modèle pour les différents modes et moyens de transport. Sur base d'un certain nombre de prévisions quant à l'évolution des trafics jusqu'en 2010, des simulations ont été réalisées afin d'examiner le rôle que certaines

infrastructures pourraient contribuer pour résoudre les problèmes de trafic que l'on peut anticiper. Le modèle et son software sont actuellement installés et opérationnels au MET.

En plus des rapports rédigés avec STRATEC et ADE pour le Ministère à des fins d'une définition d'un plan wallon de transports de marchandises, notre groupe a exploité les résultats de cette modélisation pour investiguer deux problèmes: celui des élasticités-coût des demandes de transport, ainsi que celui des effets externes des transports de marchandises.

3.4 L'estimation des élasticités directes et croisées des demandes de transport des différents types de marchandises.

Les problèmes de congestion des routes et l'émission de polluants par les voitures et camions soulève la question de la substitution du rail et des voies navigables intérieures au transport routier. Une façon d'appréhender cette problématique est d'estimer les élasticités directes et croisées des demandes de transport. Comme le problème se pose de façon différente pour différentes marchandises et différentes localisations, il est utile de calculer ces élasticités sur un réseau réel et en distinguant les diverses catégories de marchandises. La modélisation réalisée du réseau belge permettait une approche intéressante et nouvelle du calcul de ces élasticités, dont très peu d'études ont été réalisées et qui sont généralement estimées par des méthodes économétriques. Ici, ce sont des élasticités-arc qui sont estimées par la comparaison des résultats de deux simulations réalisées avec des coûts de transport. Le logiciel NODUS permet de calculer ces élasticités par rapport aux tonnes transportées aussi bien que par rapport aux tonnes/km. Il permet aussi de séparer les transports sur courtes et longues distances

Après une revue détaillée de la littérature, il apparaît que les résultats obtenus sont assez semblables à ceux obtenus par des méthodes traditionnelles, dans la mesure où la comparaison est possible. En effet peu d'études aussi détaillées ont été réalisées à ce jour et les comparaisons ne sont possibles que de façon très partielle. Ils sont toutefois caractérisés par une assez grande variation qui résulte de l'utilisation de matrices d'origines et destinations différentes pour les différentes catégories de marchandises, en plus de l'hétérogénéité du réseau sur l'ensemble du territoire belge et européen. Une version préliminaire de cette recherche a été présentée à la conférence NECTAR à Delft en octobre 1999. Certains de ses éléments ont également été présentés à la conférence organisée par la CEMT à Thessalonique en juin 2000 (Beuthe *et al.*, 2000a). Une présentation finale de cette recherche est donnée dans l'article "Intermodality and Substitution of Modes for Freight Transportation: Computation of

Price-Elasticities through a Geographic Multimodal Transportation Network Analysis" (Beuthe et al., 2000b).

3.5 L'étude des externalités du transport de marchandises.

Une seconde utilisation de cette modélisation des réseaux belges consistait à évaluer les effets externes des transports de marchandises à travers la Belgique. Ceci a nécessité en premier une revue approfondie de la littérature sur ces effets sur l'environnement, la santé et la productivité des transports, ainsi que les méthodes utilisées pour les valoriser en termes monétaires (Degrandart, 2000). Les effets étudiés sont ceux de divers polluants (PM₁₀, NO_x, VOC, SO₂, CO, CO₂), de la congestion, des accidents, du bruit et des dommages causés aux routes. Ensuite, les éléments de cette étude ont été utilisés pour calculer les effets externes des trois modes sur base des tonnes-km réalisés, tels qu'ils ont pu être calculés par le modèle de réseau détaillé au point 3.3. Les effets externes totaux de la navigation intérieure ont ainsi pu être estimés à 55 millions d'euros, ceux des chemins de fer à 76 millions et ceux de la route à 1.992 millions (somme dans laquelle ne sont pas inclus le coût de congestion des véhicules légers).

En une seconde étape, les coûts externes marginaux ont été ajoutés aux coûts opérationnels des différents modes de transport afin de simuler une internalisation de ces coûts externes dans la tarification. La simulation correspondante a montré une substitution importante du transport ferroviaire et du transport par voies navigables intérieures au transport routier (Beuthe *et al.*, 2000d) Cette substitution se réalise de façon différenciée selon les catégories de marchandises, parfois à l'avantage du chemin de fer et parfois à l'avantage de la navigation intérieure. Globalement ces substitutions contribuent à une diminution de 600 millions d'euros, correspondant à une réduction de 15,4% de la pollution, de 44% de la congestion des routes en heures de pointe, de 24% des coûts d'accidents et de 27% des dommages causés aux routes. Ces résultats sont évidemment très utiles pour soutenir la réflexion sur une politique de mobilité durable.

4. Suivi du premier programme 'Transport et Mobilité'

Les activités de GTM sont également orientées vers la méthodologie des analyses coûts-bénéfices et multicritères des investissements publics. Dans le programme SSTC précédent, GTM avait reçu pour mission d'investiguer ces méthodes dans leur application aux investissements d'infrastructure de transport. Cette recherche avait été menée également dans

le cadre d'un programme de recherche européen APAS (Beuthe, 1995) et s'était centrée sur l'utilisation d'une méthode appelée UTA, qui avait été avancée par Jacquet-Lagrèze et Siskos (Beuthe et Scannella, 1996 et 1997). Cette recherche a été continuée dans le cadre d'un autre programme européen EUNET où GTM a reçu la tâche de développer l'analyse des impacts incertains des investissements. Ceci a donné lieu à un rapport faisant le point des méthodologies disponibles et faisant un certain nombre de suggestions (Beuthe *et al.*, 1998a), ainsi qu'à un article collectif des membres de EUNET proposant une démarche complète à suivre (Beuthe *et al.*, 1998b).

L'approche spécifique proposée par GTM, exploite le potentiel de la méthode UTA dont un certain nombre de variantes ont été testées et développées (Beuthe et Scannella, 1996, 2001). La problématique des évaluations en situation d'incertitude a été particulièrement approfondie, de même que le calcul de valeurs monétaires équivalentes pour des critères non-monétaires (Beuthe *et al.*, 2000c). Cette recherche est poursuivie actuellement dans le cadre d'une thèse doctorale qui devrait aboutir prochainement. Elle a permis de développer un logiciel complet de la méthode UTA, appelé MUSTARD (Scannella, 2000), couvrant aussi bien les évaluations de projets dont les résultats ne sont pas affectés par l'incertitude que de ceux pour lesquels les impacts sont incertains. Un guide à l'usage des analystes a été rédigé (Scannella et Beuthe, 2000). Plusieurs variantes du modèle UTA global et de ses tests sont proposés par ce logiciel. Il propose aussi une nouvelle méthode, basée sur une nouvelle spécification des fonctions d'utilité partielle appelée quasi-UTA, qui estime séparément les utilités partielles composant la fonction d'utilité et qui réduit considérablement le nombre de paramètres à estimer. Cette méthodologie a été testée avec succès avec le concours du Ministère de l'Équipement et des Transports de la Région Wallonne sur un ensemble de projets routiers (Scannella et Beuthe, 2001a et 2001b).

5. Bilan et Perspectives

5.1 Le software NODUS dans sa version 4.0 a démontré son potentiel et sa versatilité pour étudier les problèmes de transport multimodaux et intermodaux. Il est en cours d'amélioration supplémentaire pour une version 5.0, qui, ainsi qu'il est indiqué ci-dessus, instaurerait une connexion systématique et commode entre le module de calcul et des bases de données relationnelles. Ce développement souhaitable constitue un de nos objectifs à court terme.

5.2 Malgré l'intérêt et l'utilité des résultats obtenus, la modélisation et la simulation des réseaux que nous avons développée grâce à NODUS constitue encore une analyse statique. Elle ne permet l'approche d'une solution d'équilibre que par itérations manuelles de simulations. Il serait souhaitable de dynamiser la modélisation de façon à permettre l'analyse plus systématique des phénomènes de répartition spatiale des trafics en fonction des flux sur ses différentes routes et des contraintes de capacité. Il faudrait également pouvoir traiter le phénomène des demandes induites de transport. Cette recherche méthodologique et empirique sera continuée à l'avenir dans la mesure de nos moyens.

5.2 La spécification des coûts généralisés de transport est encore partielle, car l'information est bien incomplète en ce qui concerne les différences qualitatives entre modes: fiabilité, sécurité, information, etc. Il serait hautement souhaitable d'en faire une étude systématique à partir d'interviews des différents acteurs des transports dans les différents secteurs d'activités industrielles. Des méthodes de préférences déclarées devraient notamment être utilisées sur base des réponses données à des questionnaires appropriés. Il s'agit ici d'un projet de plus longue durée et demandant des ressources adéquates. Il se justifie par le peu de connaissances précises dont on dispose en économie des transports quant à ces facteurs qualitatifs. Il permettrait de compléter l'analyse des coûts généralisés en étendant l'analyse de la chaîne logistique aux problèmes de production et de distribution des chargeurs et des destinataires.

6. Annexes

6.1 Le groupe de recherche GTM et ses relations extérieures

Le groupe de recherche a été fondé en 1990, lorsque les FUCAM ont reçu des fonds substantiels du gouvernement fédéral belge, Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles (SSTC), afin de développer la recherche en économie des transports. C'est une entité inter-départementale qui regroupe des membres des Facultés qui ont des activités dans le domaine des transports. Selon les recherches entreprises, il fait appel à l'expertise des divers départements spécialisés des FUCAM. GTM est un groupe universitaire et est donc principalement intéressé par la recherche de nouvelles méthodologies et leur application dans le domaine des transports. Dans ce contexte, GTM est particulièrement motivé à participer à des recherches appliquées au bénéfice des preneurs de décision et des autorités publiques. Les membres de GTM participent à divers programmes d'enseignement réguliers ou occasionnels.

Les principales recherches du groupe sont orientées selon deux axes:

- ❖ Les analyses coûts-bénéfices et multicritère pour l'évaluation des infrastructures de transport, dans le prolongement du programme SSTC et des programmes EURET et APAS de la Commission Européenne auxquels GTM a participé, et dans le cadre du consortium international de recherche EUNET sur les ' Socio-Economic Impacts of Transport ' qui fait partie du 4ème programme de recherche de la Commission. Ces recherches font également partie d'un programme universitaire de recherche FSRIU des FUCAM qui doit aboutir prochainement à une thèse doctorale sur le traitement de l'incertitude en analyse multicritère des projets d'investissement en infrastructure.
- ❖ GTM a développé un logiciel appelé NODUS qui permet une analyse complète de grands réseaux multimodaux et intermodaux . Sa méthodologie est basée sur la création d'un réseau virtuel qui décompose toutes les opérations de transport. Il est particulièrement adapté au traitement des problèmes de l'intermodalité. Grâce à ce logiciel GTM a modélisé le réseau trans-européen de transport de marchandises par quatre modes (rail, route, navigation intérieure et cabotage maritime) et par de nombreux moyens de transport (camions lourds et légers, grands et petits bateaux, train électriques et diesel) sur toute l'étendue des pays européens de l'OECD. Ce modèle a été utilisé dans le cadre de certains programmes européens de recherche: COST 328 sur les 'Integrated Strategic Infrastructure Networks in Europe' et TERMINET sur les 'New Concepts of Networks and Terminals

for Multimodal Freight Transport'. Une extension de cette modélisation a été faite aux coûts externes de transport, afin d'analyser les coûts sociaux et les bénéfices des politiques de transport.. C'est l'objet principalement du programme de recherche MOBILITE DURABLE des SSTC et d'un programme de recherche FSRIU. Avec les consultants STRATEC et ADE, GTM a été chargé par la Région Wallonne d'établir un modèle économique des réseaux et des demandes de transports de marchandises pour cette région dans son environnement national et européen, modèle qui doit servir à l'organisation et à la planification de ces transports.

- ❖ GTM a participé également aux programmes européens CODE-TEN sur le réseau trans-européen de transport de marchandises, et TRANS-TALK sur les méthodes d'évaluation des projets de transport.

Le consortium de recherche EUNET était composé principalement de l'Université Nationale Technique d'Athènes, de l'Université de Leeds (ITS), de l'Université Technique du Danemark (IVTB), de l'INRETS (France), de Marcial Echenique and Partners (Cambridge) et de Planco Consulting GMBH (Essen).

Le consortium de recherche TERMINET était formé de l'Université de Technologie de Delft (TRAIL), de l'Université Libre d'Amsterdam (ESI), de l'Université de Cranfield, de VTT Research Center of Finland, du CERIAS de Bergame ainsi que de deux firmes d'ingénierie suisse et allemande.

Les projets CODE-TEN et TRANSTALK rassemblent des experts de tous les pays européens.

Les compétences des membres du groupe relèvent de différentes disciplines, ce qui permet une approche interdisciplinaire des problèmes par l'analyse économique, la recherche opérationnelle, le management et l'informatique. Les membres du groupe sont actuellement:

- Michel Beuthe, Ph.D. in Economics, directeur, (académique),
- Fabrice Degrandart, Licencié en sciences mathématiques, (chercheur),
- Bart Jourquin, Docteur en sciences économiques appliquées, (permanent),
- Christian Koul A Ndjang' Ha, Ingénieur civil, (chercheur jusque septembre 2000),
- Giuseppe Scannella, Ingénieur commercial et de gestion (doctorant, jusque décembre 2000),

- Sylvianne Haubruge, Docteur en mathématiques, (chercheur, depuis décembre 2000),
- Jonathan Lebrun, Informaticien, (depuis décembre 2001)

Les publications de GTM sont soit des rapports de recherche adressés aux autorités et institutions (ministères, Commission Européenne, etc.), soit des articles à destination des revues scientifiques. Le plus souvent ces publications sont précédées par des présentations dans des conférences internationales ou des séminaires de recherche.

6.2 Publications et rapports récents :

Une copie des publications en rapport avec les deux programmes successifs sur la Mobilité est jointe à ce rapport. Ils contiennent les résultats détaillés des différentes études entreprises dans le cadre de ces programmes.

- **Beuthe M. et E. Kreutzberger**, 2001, *Consolidation and Transshipment*, (June 2000), Chapter 15 of *Handbook 2 on Transport and Supply-Chain and Logistics*, ed. by K. Button and D.A. Hensher, Pergamon.
- **Scannella G. et M. Beuthe**, 2001a, *Evaluation de projets routiers aux résultats incertains avec la méthode Quasi-UTA*, préparé pour le XIXème Congrès de la Route de l'association belge de la Route, Genval 12-14 2001.
- **Scannella G. et M. Beuthe**, 2001b, *Assessing risky public investments with MUSTARD*, préparé pour les Troisièmes journées francophones de recherche opérationnelle (FRANCORO III), Québec 9-12 mai 2001.
- **Beuthe M.**, 2001, *Methods of Transport Project Evaluation: From cost-benefit to multicriteria and decision framework analyses*, papier présenté au premier séminaire du réseau thématique européen TRANS-TALK, 30 Mai 2000, Bruxelles, accepté pour un livre édité par L. Giorgi (ICCR, Vienna), Ashgate.
- **Beuthe M. et G. Scannella**, 2001, *Comparative Analysis of UTA Multicriteria Methods*, *European Journal of Operational Research (EJOR)*, feature issue : Preference Disaggregation, vol.130, n°2, , février 2001,p.246-262.
- **Scannella G.**, 2000, *Multicriteria Assessment of Uncertain Projects with UTA and Quasi-UTA approaches*, rapport de thèse doctorale, décembre 2000, GTM-FUCAM.

- **Koul à Ndjang'Ha et S.Haubruege**, 2000, Modèles d'équilibre sur le réseau virtuel NODUS, Rapport GTM-FUCAM, septembre 2000.
- **Degrandsart F.**, 2000, *L'évaluation des effets externes des transports de marchandises sur le territoire belge*, Rapport GTM-FUCAM, septembre 2000.
- **Beuthe M., B. Jourquin et J. Charlier**, 2000a, *De la compétitivité des réseaux de transports intermodaux de marchandises en Europe*, Rapport présenté au 15eme Symposium international de la CEMT, Thessalonique, avril 2000.
- **Jourquin B. et Beuthe M.**, 2000, *Multimodal Freight Networks Analysis with NODUS, a Survey of Several Applications*, présenté au séminaire "European Maritime Transport: Trend Analysis and Forecast Models", CETENA, Genova, 21 septembre 1999, et au 3ème KFB Research Conference, Stockholm (Suède), 13 -14 juin 2000, à accepté par Transportation Planning and Technology.
- **Beuthe M., Jourquin B, Geerts J-F et Koul à Ndjang' Ha Ch.**, 2000b, *Intermodality and Substitution of Modes for Freight Transportation : Computation of Price-Elasticities through a Geographic Multimodal Transportation Network Analysis*, rapport préliminaire présenté à la conférence NECTAR, Delft, octobre 1999, accepté par Transportation Research-E.
- **Geerts J.F. et Jourquin B.**, 2001, *Freight Transportation Planning on the European Multimodal Network: the case of the Walloon Region*, présenté au NECTAR cluster 2 meeting, Sienne (Italie) 25-26 mars 2000, et au 6ème RSAI World Congress 2000, Lugano, Suisse, 16-20 mai 2000, publié in European Journal of Transport and Infrastructure Research, vol.1, mars 2001, n°1.
- **Beuthe M., Eeckoudt L. et Scannella G.**, 2000c, *A practical multicriteria methodology for assessing risky public investments*, Socio-Economic Planning Sciences, 34 (2000), 121-139.
- **Jourquin B et Bourgeois L.**, 2000, *Distance estimation in a network with obstacles. A methodological note*, présenté à la conférence ORBEL 14, Mons (Belgique) 20-21 janvier 2000.
- **Beuthe M., F. Degrandsart, J.F. Geerts et B. Jourquin**, 2000d, *External Costs of the Belgian Freight Traffic : A Network Analysis of their Internalisation*, rapport préliminaire présenté à la conférence NECTAR, Delft, Octobre 1999.
- **Scannella et M. Beuthe**, 2000, *Mustard : User's Guidebook for UTA Multicriteria Analysis*, Rapport GTM, décembre 2000

- **Jourquin B.**, 1999, *Freight Transportation Networks*, présentation générale du logiciel Nodus à la conférence "Socio-Economic Analysis and Geographic Information", EURESCO, European Science Foundation, Espinho, Portugal, 22-27 mai 1999.
- **Beuthe M., L. Demilie et B. Jourquin**, 1999, *The International Impacts of a New Road Taxation Scheme in Switzerland*, papier présenté au Cost 328 Research Action final seminar de Bilbao, 2-3 Avril 1998. Publié dans *New Contributions to Transportation Analysis in Europe*, M. Beuthe and P. Nijkamp ed., Ashgate 1999, pp 97-118.
- **Jourquin B., M. Beuthe et L. Demilie**, 1999, *Freight Bundling Network Models : Methodology and Application*, papier présenté à la World Conference of Transportation Research à Antwerp, Juillet 1998. Publié dans *Transportation Planning and Technology*, 1999, vol 2, pp 157-177.
- **Demilie L., Jourquin B. et M. Beuthe**, 1998a, *Impacts on Modal Choice of New Generation Terminals: Performance Analysis of a Hub-and-Spoke Network*, papier présenté au European Regional Science Association annual meeting in Vienna, Août 1998, accepté pour publication par *European Research in Regional Science*.
- **Jourquin B.**, *NODUS 4.0, Guide de référence*, 1998a, pour le Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports (MET).
- **Beuthe M., L. Eeckhoudt et G. Scannella**, 1998a, *Innovations in Decision Analysis for Transportation Initiatives' Evaluation*, EUNET Deliverable D10, 3 volumes (texte principal, annexes and attachments), Septembre 1998.
- **Jourquin B., B. Meurisse et M. Beuthe**, avec **Stratec SA** et **ADE**, 1998a, *Plan multimodal de transport de marchandises de la Région Wallonne, phase II, Mise au point et validation du modèle et complément de diagnostic*, MET.
- **Jourquin B.**, 1998b, *Tool : Decision Support Tool/Model for Bundling Layout*, TERMINET deliverable D5, 1998
- **Jourquin B., L. Demilie, M. Beuthe et P. Safonov**, 1998b, *GIS Presentation of Innovative Bundling Concepts*, TERMINET deliverable D3.
- **Beuthe M., S. Grant-Muller, A. Pearman et D. Tsamboulas**, 1998b, *Prioritising Trans-European Transport Initiatives*, papier présenté à la World Conference of Transportation Research à Antwerp, Juillet 1998.
- **Demilie L., V. Dupuis, B. Jourquin et M. Beuthe**, 1998b, *On the Crossing of the Alpine Chain and the Swiss Regulation of Trucking*, rapport préparé pour le Research

Action COST 328, dans ' Accessibility, Trade and Locational Behaviour ' pp 313-331, édité par A. Reggiani, Ashgate 1998.

- **Jourquin B., Meurisse et M. Beuthe**, avec STRATEC et ADE, 1997, *Plan multimodal de transport de marchandises de la Région Wallonne, phase I, Recueil d'informations, mise au point de la méthodologie et diagnostic de la situation actuelle*, MET 1997.
- **Jourquin B.**, 1997 *Plan multimodal de transport de marchandises de la Région Wallonne, phase I, Note méthodologique*, MET.
- **Janelle D.G. et M. Beuthe**, 1997, *Globalization and Research Issues in Transportation*, papier présenté au National Science Foundation - European Science Foundation Workshop on Transportation Research, Strasbourg, Octobre 1996, J. of Transport Geography, Vol. 5, n° 3, p.199-206, Sept. 1997.
- **Demilie L., B. Jourquin and M. Beuthe**, 1997, *A Sensitivity Analysis of Transportation Modes Market Shares on a Multimodal Network : The Case of Dry Bulk Transports between Benelux/Germany and Spain*, présenté au 5th Congress of the RSAI , Tokyo Mai 2-6, 1996, in ' Policy Analysis of Networks ', édité par P. Rietveld et C. Capineri, Ashgate 1997.
- **Jourquin B. et M. Beuthe**, 1996, *Transportation Policy Analysis with a GIS : The virtual Network of Freight Transportation in Europe*, Transportation Research -C, Vol.4, n° 6, 1996.
- **Beuthe M. et G. Scannella**, 1996, *Applications comparées des méthodes d'analyse multicritères UTA* , RAIRO, Recherche opérationnelle/Operations Research,, n° 3, 1996.
- **Jourquin B.**, 1995, *Un outil d'analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits. Le réseau virtuel : concept méthodes et applications*, thèse de Doctorat , Fucam 1995.