



Nouveaux Espaces de Transport en Europe (Application Recherche)

Ministère de l'Ecologie, du  
Développement et de l'Aménagement Durables  
DRAST

**MODEM**  
**Spécification d'un modèle**  
**de transport de marchandises**  
**en France**

*Synthèse et nouvelles perspectives de  
modélisation de transport de marchandises*

**Lettre de commande 03 MT 06**

Septembre 2007

89-93, Avenue Paul Vaillant Couturier  
94250 GENTILLY  
Tél : 33 1 41 98 38 10 Fax : 33 1 45 46 55 12  
Site web : [www.nestear.net](http://www.nestear.net)

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION .....	3
I – Nouveau contexte et nouveaux objectifs pour la modélisation.....	7
1. L'évolution de la demande.....	7
2. L'évolution de l'offre .....	12
3. L'évolution des objectifs politiques .....	17
II - Génération de trafic et connaissance de flux.....	21
1.1. <i>Bases nationales et SITRAM</i> .....	28
1.2. <i>Les données européennes et le projet ETIS</i> .....	30
1.3. <i>Le cas particulier de l'enquête aux frontières (CAFT)</i> .....	37
1.4. <i>Conclusion du chapitre sur les bases de données</i> .....	40
2- Le modèle de génération / distribution .....	43
2.1. <i>Les modèles macro économiques</i> .....	45
2.2. <i>Les modèles « meso-économique »</i> :.....	47
2.3. <i>Les modèles de génération/distribution interrégionaux</i> .....	51
III - Affectation sur réseaux et contribution des modes .....	60
1. Les modes de partage modal et leur amélioration.....	63
2. L'affectation sur les réseaux intermodaux .....	70
ANNEXES.....	81
A. 1 Page web.....	82
A.2 Compte rendu des séminaires .....	84

## INTRODUCTION

MODEM est un travail de recherche du PREDIT sur la modélisation du transport de marchandises qui s'est réalisé en deux temps.

- Organisation de 4 séminaires ouverts à un nombre limité d'experts nationaux et internationaux venus présenter en détail leur expérience de modélisation du transport de marchandises en France et en Europe : un effort particulier a été fait pour s'assurer de la participation d'universitaires de différents pays européens mais aussi de spécialistes en charge de la modélisation des transports à l'échelle nationale dans les pays voisins (RFA, UK, Italie, Espagne notamment). L'expérience de la modélisation du transport de marchandises pour la Commission Européenne a aussi été fréquemment discutée.

Les séminaires ont été préparés et animés par Christian Reynaud et Marc Gaudry. La rédaction et la diffusion des synthèses ont été réalisées par NESTEAR.

La présentation de ces synthèses a été faite par NESTEAR lors d'une réunion organisée par le PREDIT en juin 2006 pour les Réseaux Scientifiques et Techniques (RST) du ministère.

- La rédaction d'un rapport plus général sur la modélisation du transport de marchandises, qui est l'objet du présent document et qui réintègre ces différents éléments de synthèses dans un cadre plus global de modélisation, fait référence aussi à des travaux récents qui n'ont pas toujours pu être exposés et s'efforce de montrer dans quelles directions la modélisation dans ce domaine doit s'orienter. Il y a aussi dans cette recherche un aspect recommandations pour la mise au

point d'un modèle national qui puisse être opérationnel à court et moyen terme.

Ceci étant, il importe de souligner très vite les portées et limites d'une telle ambition à un moment où la plupart des décisions doivent se prendre dans un contexte d'évolution du transport international (le champ du transport urbain a été exclu du projet MODEM), et où l'organisation du transport est en rapide transformation, aussi bien en ce qui concerne les volets ferroviaire et maritime, que le volet routier, sans oublier la voie d'eau qui voit aussi s'ouvrir de nouvelles perspectives.

Ainsi dans le cas présent, l'ambition n'est donc pas de présenter un ouvrage sur le problème même si le besoin existe plus que jamais. Il est simplement de capitaliser les conclusions des séminaires MODEM et de les compléter par les témoignages récents dans un document qui n'engage que les auteurs et ceux qui auront bien voulu réagir à leurs analyses.

Dans le contexte actuel un tel document représente déjà un travail conséquent qui pourrait toujours être prolongé par un ouvrage dont la réalisation prendrait encore un ou deux ans, notamment si l'on souhaite aller au-delà de la présentation d'un ensemble de contributions individuelles.

Le fil directeur de cette synthèse générale est alors la nécessité actuelle de repenser en profondeur des démarches de modélisation du transport de marchandises et de remettre en cause l'approche classique en 4 étapes : génération, distribution, partage modal, affectation sur réseau. Aujourd'hui de nouvelles techniques, et notamment des techniques d'affectation sur réseau, sont désormais accessibles qui remettent en cause l'intérêt de l'étape « partage modal » à un moment où les modèles de partage modal s'avèrent de plus en plus inadaptés pour traiter des questions stratégiques actuelles de la combinaison des modes (co-modalité) de leur contribution aux

performances des chaînes de transport. Le transport maritime en particulier et les différentes techniques de transport combiné doivent plus que jamais être intégrés dans l'analyse.

Ceci ne signifie pas nécessairement que les modèles de partage modal deviennent inutiles : des améliorations sont possibles, mais leur application supposera de plus en plus souvent qu'ils soient confrontés, interfacés, validés par des approches désormais plus précises d'affectation sur les réseaux qui sont devenus des réseaux intermodaux, où les modes se retrouvent en position de complémentarité ou de concurrence dans la recherche des solutions les plus performantes. Les progrès réalisés dans les bases de données géocodées et les SIG ont permis de développer ces techniques comme le montrent les travaux européens de recherche du projet ORATE (ESPON en anglais) qui ont permis de resserrer les liens entre les recherches en géographie et en transport.

Concernant les deux premières étapes de la modélisation, celles de la génération et de la distribution, leur frontière avait déjà tendance à s'estomper avec l'intérêt porté aux modèles d'échanges et aux modèles gravitaires dans le domaine du transport de marchandises (ce qui ne sera pas nécessairement le cas en transport de voyageurs) : ces modèles permettent une adéquation plus étroite avec l'observation des flux physiques nécessaire pour comprendre l'utilisation des réseaux de transports.

Mais cette synthèse sur la modélisation se veut aussi pratique pour le développement des modèles à un horizon de 1 ou 2 ans comme le demandaient les termes de référence de la recherche. La disponibilité actuelle des données est donc une contrainte forte qui sera toujours présente dans ce document, non seulement pour apprécier si une démarche est possible mais aussi et surtout pour pouvoir la valider sur le plan scientifique.

Cette synthèse comprendra alors deux grandes parties précédées d'un chapitre sur le nouveau contexte et les nouveaux objectifs des modèles.

- I - Nouveaux contextes et objectifs de la modélisation
- II - Génération de trafic et connaissance des flux
- III - Utilisation des réseaux et contribution des modes

## **I – Nouveau contexte et nouveaux objectifs pour la modélisation**

Le nouveau contexte est celui de l'évolution de la demande de transport ainsi que celui de l'offre dans lequel viennent s'inscrire de nouveaux objectifs de stratégies et de politique de transport tant au niveau des entreprises qu'à celui des décideurs politiques.

Les évolutions des objectifs politiques découlent en partie du fonctionnement du marché du transport mais pas totalement : les préoccupations de protection environnementale deviennent des objectifs de société qui dépassent les mécanismes du fonctionnement du marché.

Les modèles doivent s'adapter à ces nouveaux objectifs puisque leur fonction est d'éclairer les décisions d'acteurs publics et privés : s'ils ne sont pas aptes à prendre en compte de nouveaux indicateurs comme variables d'entrées pour fournir de nouveaux types de résultats alors ils perdent considérablement de leur intérêt.

### ***1. L'évolution de la demande***

Elle s'exprime de manière quantitative avec notamment des changements quantitatifs importants dans la structure des flux (par type de produit transporté, par type de conditionnement dans la distribution spatiale des flux) et des changements qualitatifs, avec de nouvelles exigences de la part des chargeurs.

- Il s'agit d'abord d'une croissance plus rapide des flux internationaux, du fait de l'intégration européenne et de la mondialisation des échanges sur un territoire national qui est aussi un territoire de transit.

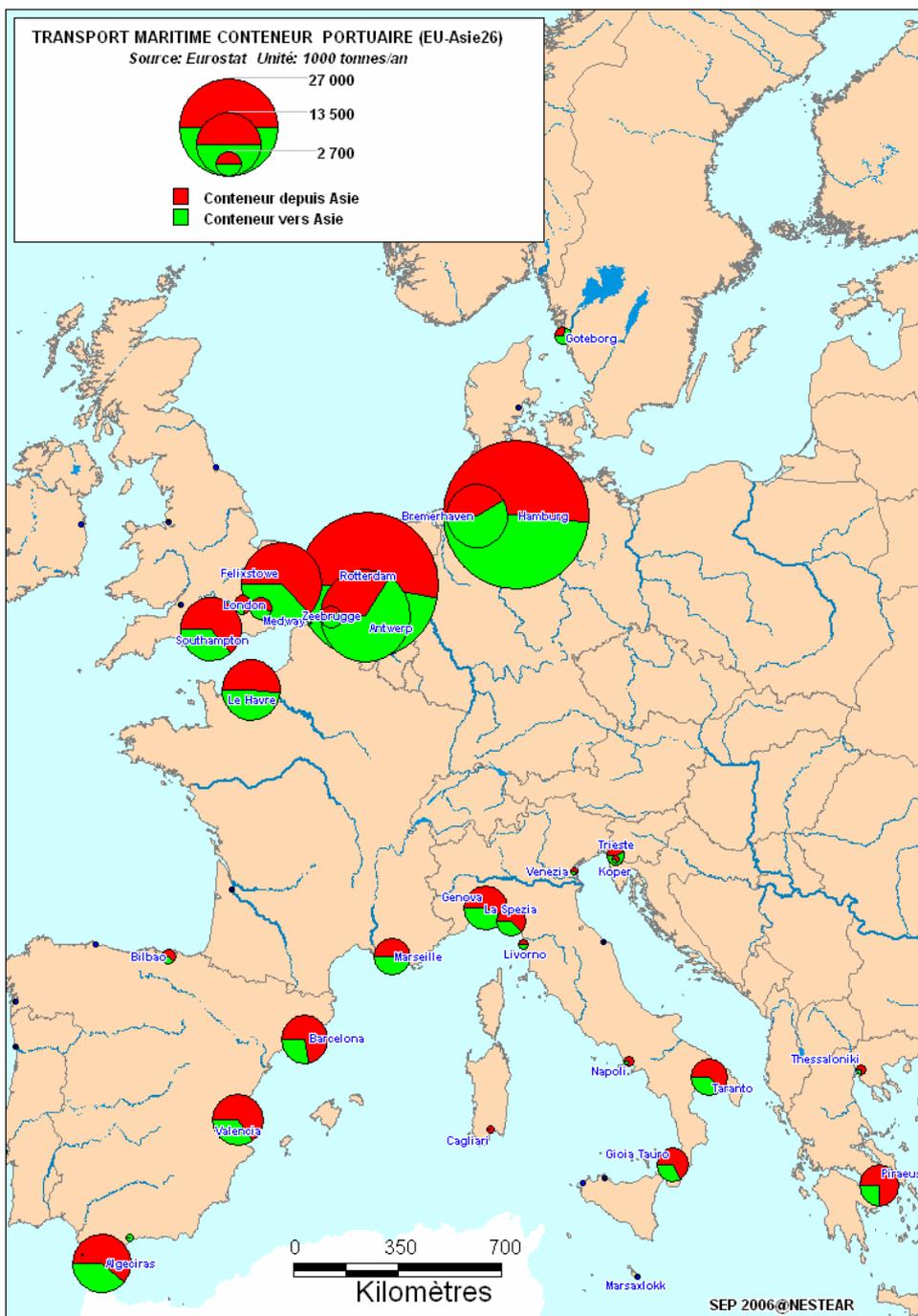
A noter que depuis quelques années le commerce extra communautaire se développe plus vite que le commerce intra communautaire et ceci malgré l'élargissement de l'Europe.

La conséquence est en particulier une augmentation très rapide des flux de conteneurs qui vont jouer un rôle structurant important sur les principaux corridors de la géographie européenne. Or on verra que ces flux sont plus difficiles à connaître à partir des bases statistiques usuelles notamment pour leur acheminement terrestre dans l'hinterland des ports, rendant plus que jamais nécessaire une modélisation spécifique sur l'acheminement portuaire comme partie d'une chaîne maritime intercontinentale.

- Il s'agit s'ensuite de changements d'exigences liées à la nature des produits transportés et à la taille des envois.
- Et enfin il s'agit aussi, au niveau des entreprises de besoins qui s'expriment différemment avec des contraintes de qualité plus fortes, des demandes de suivi et de traçabilité qui deviennent aussi des exigences de sécurité. Les variables classiques de prix et de temps, les décompositions traditionnelles en 10 chapitres NST sont impuissantes pour refléter ces nouvelles réalités.

Sur le plan de la modélisation les conséquences sont la définition de nouveaux regroupements de produits correspondant mieux aux filières logistiques, l'élargissement des bases de données à des échanges intercontinentaux, l'intégration d'indicateurs de qualité (au moins pour le partage modal) et enfin l'ouverture des scénarios socio économiques à des enjeux européens et mondiaux qui auront au moins autant d'incidences sur les perspectives nationales elles-mêmes que les décisions nationales (du moins en ce qui concerne les trafics entre régions).

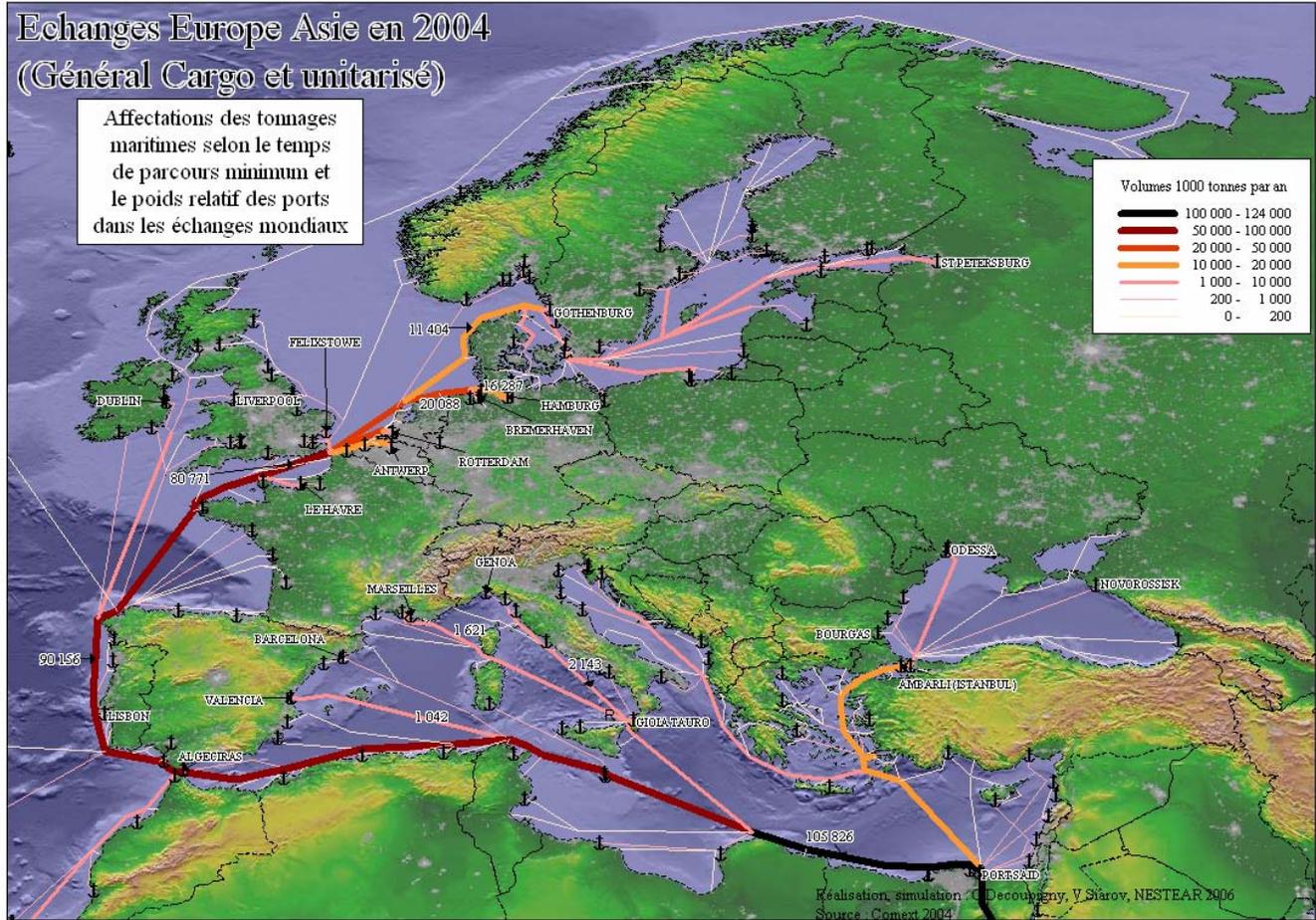
## La mondialisation, le transport de conteneurs et ses conséquences sur la modélisation





## Echanges Europe Asie en 2004 (Général Cargo et unitarisé)

Affectations des tonnages maritimes selon le temps de parcours minimum et le poids relatif des ports dans les échanges mondiaux



## ***2. L'évolution de l'offre***

Ce nouveau contexte est aussi celui de l'offre de transport portée par l'émergence de nouvelles solutions intermodales qui intègrent les modes maritimes, terrestres, aériens.

Il est usuel de rappeler que le transport de matières premières et de produits intermédiaires connaissait une croissance moins rapide (voire parfois un recul) que les produits à valeur ajoutée plus élevées.

Il est aussi rappelé que la fabrication des produits fait appel de plus en plus souvent à des matériaux plus légers, avec l'exemple des matériaux de construction, que des minerais à teneurs plus élevées, que des engrais liquides concentrés sont transportés limitant d'autant les tonnages transportés.

Ces évolutions modèrent la croissance en tonnes transportées, par comparaison aux croissances mesurées en valeur des produits.

Mais ces phénomènes sont en réalité plus complexes et c'est l'ensemble des chaînes de production /distribution qui sont en réalité profondément transformées

- avec une multiplication de produits intermédiaires et une croissance rapide des échanges intra branches dont la logique est beaucoup plus difficile à saisir car elle suppose la prise en compte d'un plus grand nombre de catégories de produits (spécialisation des unités de production),

- avec la confrontation directe d'économies développées avec des économies moins développées qui accroissent les tendances de délocalisation d'une partie ou de l'ensemble d'une production avec des schémas beaucoup plus complexes que les schémas traditionnels où les économies les plus riches importent des matières premières et exportent des produits finis : l'exemple du développement asiatique montre que cela n'est pas toujours vrai et que la période de croissance actuelle de l'économie mondiale a aussi entraînée une forte croissance du transport de produit de base et de produits intermédiaires dont l'origine est aussi celle des pays les plus développés au point où certains économistes ont parlé de « résurgence de l'économie traditionnelle ». L'exemple de la Chine montre clairement que la valeur à la tonne des produits importés par l'UE est largement supérieure à celle des produits exportés.

A ce stade le débat ne se limite plus à celui du recours à des modes alternatifs à la route.

Les combinaisons modales sont de plus en plus nécessaires même si elles introduisent des contraintes supplémentaires au niveau de l'exploitation. Ces techniques d'exploitation progressent d'ailleurs continuellement avec l'application de nouvelles techniques et technologies multipliant les opportunités de massification lorsque les envois sont à plus longue distance.

Parmi les modes alternatifs il y a bien entendu de nouvelles combinaisons de modes traditionnels que sont le fer, la voie d'eau, le cabotage maritime. Mais chacun de ces modes ne peut plus être considéré globalement dans un modèle avec un coût unitaire moyen comme cela peut éventuellement être le cas pour la route pour des envois de bout en bout.

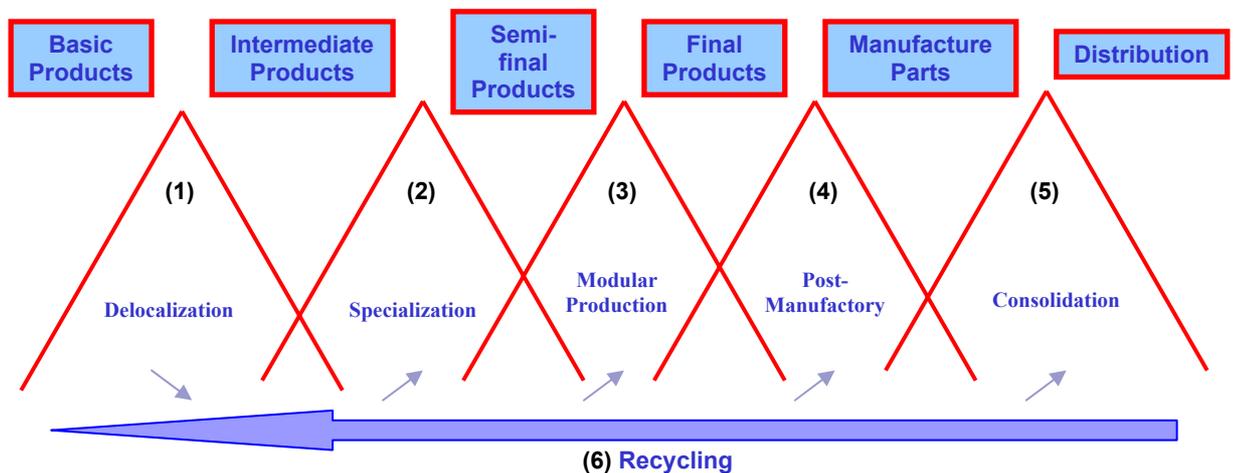
Pour le mode ferroviaire les conditions d'exploitation deviennent déterminantes et il faut distinguer :

- les trains directs
- le wagon isolé qu'il ne faut pas condamner trop vite
- des exploitations cadencées (navettes) de celles qui ne le sont pas.

Pour la voie d'eau et le maritime il en est de même, ne serait-ce que en fonction des tailles de navires qui peuvent être mises en service.

Illustration ; une interrogation du projet européen sur l'allongement des chaînes de production/distribution et de ses conséquences possibles sur la génération de trafic

## INTERNATIONAL SUPPLY CHAIN INTEGRATION



- possible decrease of transport (or transport of higher value goods)
- (2)(3) increase number of trips between industries within the same branch
- increase number of trips between industry and logistic center
- increase number of trips between logistic center
- (6) create new transport demand

Au-delà des recours à des modes alternatifs il faut rappeler que le problème du transport est avant tout un problème d'acheminement de porte à porte et donc avant tout un problème « d'organisation de chaînes de transport », dans un contexte où les chaînes de transport, associent différemment les modes au fur et à mesure du développement de nouvelles technologies.

L'autoroute ferroviaire, l'autoroute maritime en sont des exemples au sein d'un marché qui est avant tout un marché routier d'organisation de transport, avec recours à la traction d'un mode alternatif. Dans ce nouveau « spectre » d'offre de service le transport intermodal et le transport combiné s'affirment plus que jamais comme la solution la plus adaptée (et ceci d'autant plus que le transport intercontinental se développe), avec ses propres contraintes d'organisation y compris le transit dans les chantiers de transbordement, qu'il s'agisse de quais à conteneurs ou de plates formes terrestres.

Pour la modélisation les conséquences sont évidentes avec, en parallèle, la nécessité de considérer des acheminements « point à point » et d'intégrer cette diversité de combinaisons : il sera de plus en plus difficile de définir une fonction de partage modal « abstraite » utilisant des caractéristiques d'envois ou de type d'acheminement intégrant autant de « modes » et de variables caractérisant ces modes qu'il y a de combinaisons possibles.

Le recours à une description « physique » de la chaîne apparaîtra souvent plus pertinente, utilisant d'autres méthodes de modélisation et de validation que l'ajustement économétrique.

Ainsi l'introduction de modes alternatifs conduit à s'interroger sur de nouveaux modes d'exploitation, de nouvelles combinaisons modales, et à

s'assurer, à nouveau de leur « interopérabilité » au sein des réseaux européens.

La multiplicité des passages frontaliers n'a pas permis au fer de bénéficier de l'allongement des distances du transport international dans une compétition face à la route. Dans certains cas l'intermodalité peut faciliter cette interopérabilité ne serait-ce qu'en imposant des techniques nouvelles, à un moment où l'interopérabilité devient une exigence reconnue. Tous ces éléments déterminants dans l'appréciation de la compétitivité et la définition d'une politique doivent être intégrés dans l'analyse et la modélisation au niveau des attributs qui décrivent les sections et les points nodaux des réseaux et définissent les performances des acheminements.

Les questions de capacité ne peuvent plus alors être traitées qu'une fois définies des hypothèses sur les modes d'exploitation ; l'application de modèles de « fluides » avec l'utilisation de courbes « débit – vitesse » n'est plus possible lorsqu'il s'agit de transport ferroviaire ou de la voie d'eau<sup>1</sup>.

Des simulations « discrètes » sont nécessaires ; l'application de courbes débit-vitesse doit laisser la place aux concepts de « saturation du réseau » : une fois le réseau saturé il n'y a plus de solution que dans la recherche d'un autre itinéraire (modèle de réseau) ou d'une autre combinaison modale.

---

<sup>1</sup> Ces techniques sont aussi d'ailleurs contestées pour la route comme le montrent des travaux récents de recherche de l'Université de Tours

### **3. L'évolution des objectifs politiques**

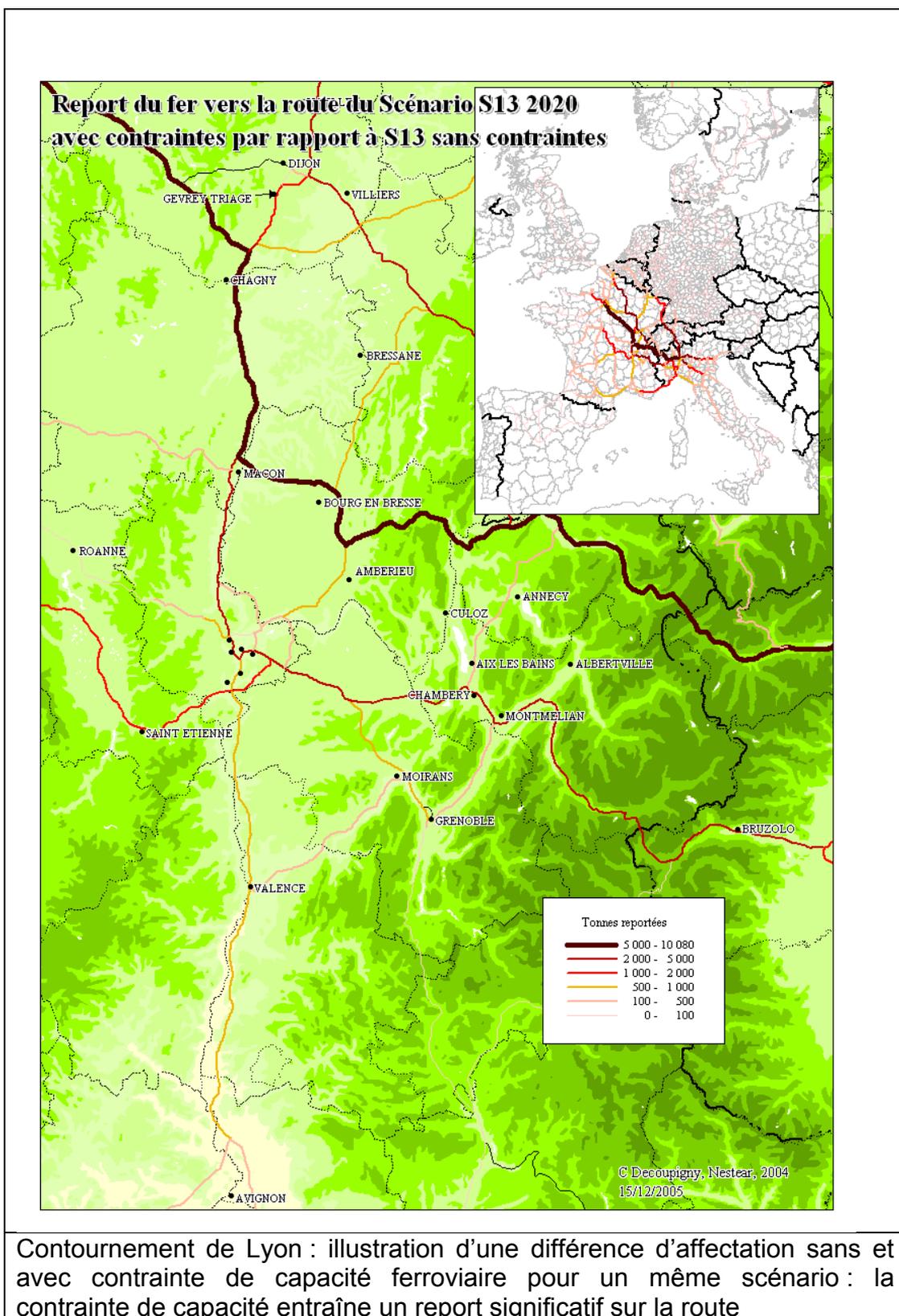
Dans cette évolution un premier objectif est d'éliminer les points de congestion d'un réseau de transport afin d'assurer la mobilité des biens et des personnes avec une qualité d'acheminement satisfaisante.

Ce réseau devient un réseau intermodal pour lequel l'objectif politique est aussi d'utiliser « au mieux » les infrastructures existantes, pour limiter les investissements en infrastructure toujours plus coûteux et contestés par les populations.

Ce faisant l'objectif politique ne peut plus ignorer les conditions d'exploitation, notamment lorsqu'il s'agit d'arbitrer des conflits entre transport de marchandises et de voyageurs.

S'il y a risque de saturation sur un secteur du réseau la question est alors de savoir quel service doit être « privilégié » avant d'envisager le cas échéant la construction d'une nouvelle infrastructure ? Suivant le choix réalisé, implicitement ou explicitement, les effets sur la distance parcourue liés à la recherche d'un nouvel itinéraire ou bien sur les volumes transférés d'un mode à l'autre vont être différents : le bilan pour la collectivité est affecté.

Aujourd'hui les trafics internationaux de fret sont « théoriquement » prioritaires sur les trafics nationaux, y compris de voyageurs (sauf TGV). Quelles en sont les conséquences pour les trafics régionaux qui auront moins d'alternatives dans le choix d'itinéraires que les trafics à longue distance ? Autant de questions auxquelles les outils doivent contribuer à éclairer la décision. Dans la Magistrale Eco Fret des choix ont été réalisés ; ils seront présentés à titre d'illustration.



Un autre objectif politique fondamental est celui de l'impact sur l'environnement.

Cet impact peut se mesurer globalement avec, par exemple, l'estimation des émissions de CO<sub>2</sub>.

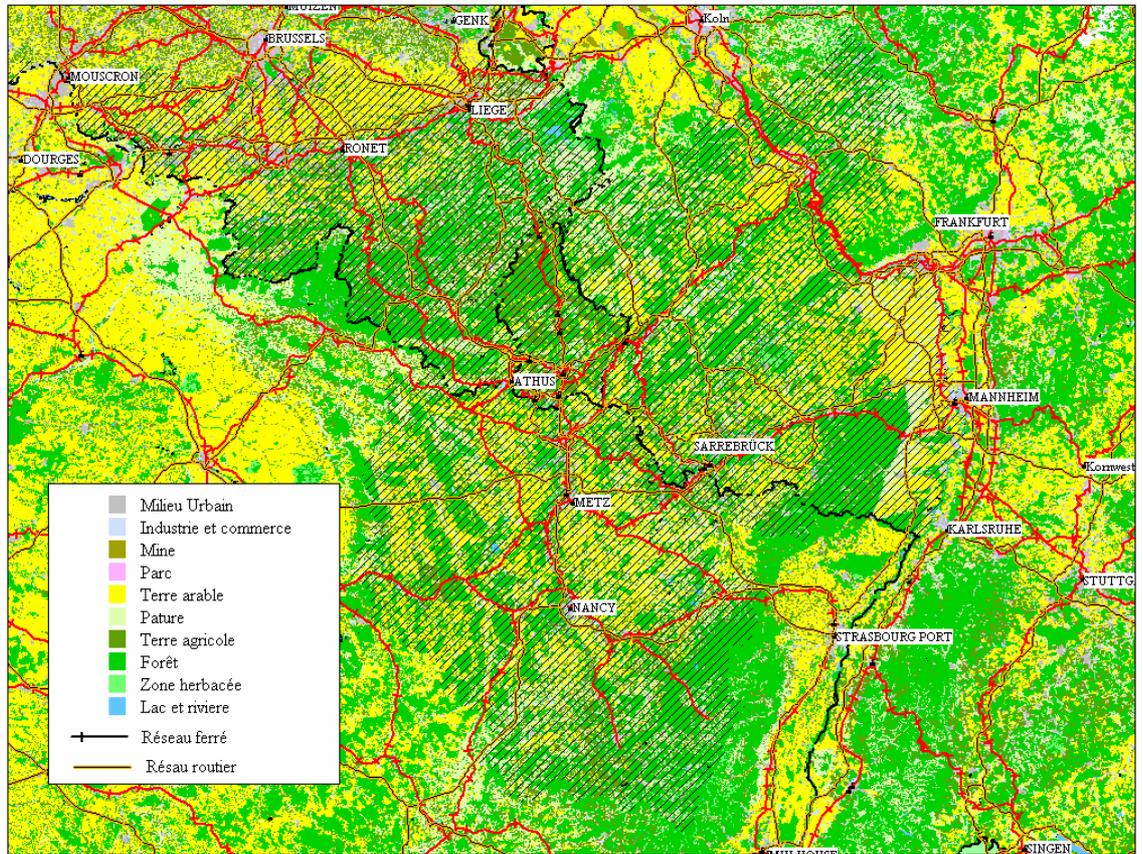
Mais une part importante de mesure de l'impact sur l'environnement est celle de l'appréciation des nuisances locales, qu'il s'agisse d'émissions de gaz toxiques ou de bruit. Les recherches récentes sur les nuisances du bruit du bruit montrent toute leur importance sur la santé, l'hypertension, le stress, les troubles du sommeil. D'où la nécessité d'un repérage précis des itinéraires qui ne peut se faire sans l'introduction de nouveaux outils de localisation intégrant les mesures d'impact avec le choix des itinéraires.

Par ailleurs, une mesure d'impact global ne peut se faire sans référence précise aux conditions d'exploitation, qui définissent les vitesses et les taux d'émission : il y a une interaction étroite entre mesure locale et mesure globale qui est souvent négligée conduisant à l'utilisation de taux moyens d'émission qui ont peu de réalité en pratique<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Cf. par exemple l'étude PACT de mesure d'émission du CO<sub>2</sub> des différentes chaînes du transport combiné.

## Illustration de « corine land cover »



Une superposition des informations d'environnement avec des informations réseau  
(C. Decouigny – Projet CORRECT)

## **II - Génération de trafic et connaissance de flux.**

La définition d'un modèle de génération de trafic est conditionnée par la disponibilité d'informations sur les flux origine / destination, qui permettent de calibrer et de valider le modèle.

Lors du premier séminaire MODEM qui a abordé le problème de génération de trafic plusieurs interventions ont insisté sur un aspect qui est trop souvent négligé : beaucoup de matrices de flux pour une année de référence sont constituées avec un grand nombre d'hypothèses sous jacentes que l'on a très vite tendance à oublier le travail de modélisation se poursuivant comme si la matrice de référence était représentative des flux observés.

Le danger est que l'on ne reproduise que des hypothèses initiales, souvent très restrictives.

Les exceptions sont bien sûr lorsque des enquêtes spécifiques sont conduites en vue de la construction d'un modèle particulier, mais le champs de l'étude sera alors forcément limité, ne serait-ce que pour des questions de coûts, et la pertinence d'application s'en trouvera réduite, car les flux à longue distance ne sont cernés que très approximativement.

Le champ d'analyse sur lequel le séminaire MODEM s'est concentré est en effet celui des échanges interrégionaux dans le contexte européen : le modèle concerne certes en premier lieu la France mais les trafics sur le territoire français ne se limitent pas aux trafics entre régions françaises. Il faut aussi intégrer le trafic européen et international de ces régions, ainsi que le trafic de transit.

Or si l'on peut admettre que la connaissance statistique des flux sur le territoire français est relativement satisfaisante, ce n'est pas le cas pour ce qui concerne les flux d'échanges internationaux et les flux de transit.

Il est exclu ici de proposer une vaste enquête nationale (et internationale) pour la réalisation du modèle national, enquête spécifiée en fonction de la formulation du modèle de génération choisi. Il faut donc adapter le modèle de génération aux informations disponibles et en tirer les conséquences sur le plan d'une démarche scientifique...

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de matrice de flux interrégionaux (les régions pourraient être définies comme le niveau NUTS II de la nomenclature EUROSTAT- voir encadré) « reconnue » ou « officielle » même si les directives statistiques européenne<sup>3</sup> demandent d'y remédier.

Des efforts ont été fait dans ce sens :

- avec l'inscription du thème de l'information statistique comme un thème prioritaire de recherche du IV PCRD.
- avec le projet ETIS, présenté à MODEM dont l'objectif a été justement de constituer de telles matrices et de les faire reconnaître par les partenaires européens.

Mais ils n'ont pas véritablement abouti puisqu'une telle matrice européenne n'est toujours pas disponibles et accessible, pour les marchandises comme pour les voyageurs. Cela nécessiterait encore un travail important et surtout coûteux de collecte que les enjeux justifient largement, mais pour lequel les financements n'ont pas été décidés.

---

<sup>3</sup> Il y a là un long débat qui remonte à la fin des années soixante dix, début quatre vingt lorsque les groupes de statistiques de transport ont été remis en place à Luxembourg, siège de l'EUROSTAT. Ce débat porte notamment sur la fiabilité des données transmises, lorsqu'elles sont transmises, et l'harmonisation des méthodes.

Il existe certes « des producteurs » de matrices de flux interrégionaux européens pour les marchandises : elles sont le résultat de collecte d'informations observées et estimées, avec des sources variées et des méthodes différentes (pour une même matrice, suivant la disponibilité des statistiques), conduites par des organismes d'études ou de recherche, qui, en général, ne sont pas accessibles (ou du moins pas à titre gratuit).

En conclusion la définition d'un modèle de génération passe par une analyse de la disponibilité et de la qualité des statistiques, point souligné lors du séminaire.

### **1 – Bases de données et leurs limites.**

Les bases de données qui nous concernent pour un modèle interrégional, international et intermodal, sont le plus souvent des bases nationales et modales.

Ceci étant il y a quelques exceptions qui concernent certaines zones bien délimitées (exemple de l'enquête « aux frontières » pour les trafics transalpin et transpyrénéen sur laquelle nous reviendrons), ou bien le commerce extérieur. Dans ce dernier cas l'approche initiale est bien « tous modes » mais les origines et les destinations à l'étranger, ne sont pas détaillées à un niveau régional : il y a toujours une difficulté pour identifier la zone d'origine ou de destination de manière suffisamment précise (et à les distinguer des points de passage en douanes <sup>4</sup>).

---

<sup>4</sup> L'objet de cette recherche n'est pas de descendre à un niveau très détaillé des problèmes statistiques mais d'en pointer les principales limites qui ont une influence sur les choix possibles d'un modèle de génération.

L'objectif est donc d'agréger ces bases pour constituer un champ d'observation décrivant les flux interrégionaux, tous modes, pour caractériser la « génération » de trafic de l'année de référence :

- flux interrégionaux français (entre régions administratives qui correspondent au niveau NUTS II)
- flux du commerce extérieur français (flux émis et reçus par les régions, avec les pays étrangers) à l'échelle de l'Europe (« intégration » européenne), voire du monde (« mondialisation »)
- flux de transit sur le territoire français avec notamment le transit ayant pour origine ou destination l'Espagne et l'Italie.
- flux qui sont « susceptibles » de transiter par la France, à un moment donné ou à un autre, du fait d'un changement d'itinéraire ou de mode : par exemple un trafic maritime entre deux pays européens voisins transféré sur la route à travers la France, ou un trafic intercontinental après chargement dans le port d'entrée/sortie.

Dans ce dernier cas, bien entendu, tous les flux internationaux européens ne doivent pas être considérés et il faut toujours définir les limites des champs d'analyse pour cerner les flux « susceptibles » « d'intéresser » le territoire national. Toutefois ces limites ne sont pas simples à définir au vu des changements d'itinéraires qui se produisent entre grands corridors (cf. par exemple les grands corridors transalpins avec les enjeux des constructions de tunnels de base ferroviaire), ou bien de la concurrence qui joue entre les grands ports pour la conquête « d'hinterlands terrestres » dans les échanges internationaux. Si ces changements d'itinéraires doivent être considérés à un moment ou un autre, parce qu'ils intéressent les infrastructures nationales (qu'il s'agisse d'infrastructures routières, ferroviaires, de voie d'eau, ou bien de ports, d'aéroports, ou de plates-formes logistiques), alors il faut bien prendre en compte, les variables économiques susceptibles de générer ces flux.

Devant la difficulté de définir de manière suffisamment précise le champ d'analyse pertinent, il est préférable de prendre en compte l'ensemble des échanges de l'UE, voire des pays proches.

A ce stade il est alors important de souligner le poids du transport international dans les relations à longue distance. (cf. tableau). Il représente près de la moitié de l'activité ferroviaire, un enjeu considérable pour la voie d'eau, et souvent près de 20 % du trafic routier sur les grandes infrastructures nationales. Et cette part est en augmentation constante au point où, dans des projections de long terme, à 20 ou 30 ans, qui sont celles des grands projets d'infrastructure, les échanges internationaux représentent le plus souvent des enjeux au moins aussi importants que les échanges, interrégionaux, nationaux (sans parler des projets transfrontaliers qui concernent par définition les relations internationales)



Source : CCTN

**M.1 Les transports intérieurs terrestres de marchandises**

en milliards de tonnes-kilomètres

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Transport ferroviaire (1)</b>	<b>48,3</b>	<b>50,1</b>	<b>54,2</b>	<b>54,1</b>	<b>54,5</b>	<b>57,7</b>	<b>51,7</b>	<b>51,3</b>	<b>48,1</b>	<b>46,3</b>	<b>40,7</b>
National	26,3	26,7	28,0	27,5	28,5	29,9	26,5	26,5	25,2	24,3	21,6
International	14,4	14,7	16,0	17,1	16,8	18,5	17,0	17,0	15,8	15,6	13,9
Transit	7,5	8,7	10,2	9,5	9,2	9,3	8,2	7,9	7,1	6,5	5,2
<b>Transport routier</b>	<b>227,1</b>	<b>231,1</b>	<b>238,2</b>	<b>246,5</b>	<b>260,3</b>	<b>266,5</b>	<b>273,7</b>	<b>277,0</b>	<b>278,8</b>	<b>301,4</b>	<b>299,7</b>
<b>Pavillon français (2)</b>	<b>178,9</b>	<b>180,1</b>	<b>183,6</b>	<b>189,8</b>	<b>201,0</b>	<b>203,0</b>	<b>208,5</b>	<b>208,7</b>	<b>209,9</b>	<b>218,5</b>	<b>214,0</b>
National (PTAC>3,5t)	141,1	142,1	144,3	149,5	158,9	163,0	168,7	170,0	171,2	179,2	177,0
<i>Compte propre</i>						28,6	30,4	31,8	31,7	30,4	30,5
<i>Compte d'autrui</i>						134,5	138,3	138,2	139,4	148,9	146,5
International (PTAC>3,5t)	19,6	19,9	20,8	21,5	22,7	20,7	19,9	18,1	17,7	17,8	15,4
National (PTAC=3,5t)	16,9	17,0	17,4	18,0	18,5	18,8	19,5	20,1	20,6	21,0	21,3
Transit	1,4	1,1	1,1	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3
<b>Pavillon étranger (3)</b>	<b>48,3</b>	<b>50,9</b>	<b>54,6</b>	<b>56,7</b>	<b>59,3</b>	<b>63,5</b>	<b>65,2</b>	<b>68,3</b>	<b>68,9</b>	<b>82,9</b>	<b>85,7</b>
Transit	28,9	30,3	32,4	33,0	34,4	36,5	38,7	40,4	40,7	50,5	50,8
International	19,4	20,6	22,2	23,7	23,3	24,8	23,7	24,5	24,4	27,5	29,1
Cabotage					1,6	2,2	2,8	3,4	3,8	4,8	5,8
<b>Transport fluvial (4)</b>	<b>5,9</b>	<b>5,7</b>	<b>5,7</b>	<b>6,2</b>	<b>6,8</b>	<b>7,3</b>	<b>6,7</b>	<b>6,9</b>	<b>6,9</b>	<b>7,3</b>	<b>7,9</b>
National	3,2	3,2	3,1	3,5	4,1	4,1	3,6	3,9	4,0	4,2	4,6
International	2,7	2,5	2,5	2,8	2,7	3,1	3,1	3,0	2,9	3,2	3,2
<b>Oléoducs</b>	<b>22,3</b>	<b>21,9</b>	<b>22,1</b>	<b>21,6</b>	<b>21,3</b>	<b>21,7</b>	<b>22,1</b>	<b>21,0</b>	<b>22,1</b>	<b>20,5</b>	<b>20,2</b>
Produits finis (5)	6,1	6,6	6,5	6,7	6,7	6,7	7,1	7,0	6,8	6,7	6,7
Produits bruts	16,2	15,3	15,6	14,9	14,6	15,0	15,0	14,0	15,3	13,8	13,4
<b>ENSEMBLE DES TRANSPORTS TERRESTRES</b>	<b>303,6</b>	<b>308,9</b>	<b>320,3</b>	<b>328,4</b>	<b>343,0</b>	<b>353,1</b>	<b>354,3</b>	<b>356,2</b>	<b>355,9</b>	<b>375,5</b>	<b>368,5</b>
NATIONAL	187,4	189,1	192,9	198,4	211,6	218,1	221,0	223,8	224,8	233,6	230,5
INTERNATIONAL	78,3	79,7	83,7	86,7	86,9	88,7	85,8	83,6	82,9	84,6	81,7
TRANSIT	37,8	40,1	43,7	43,3	44,6	46,4	47,4	48,8	48,2	57,4	56,3

### *1.1. Bases nationales et SITRAM*

En France il y'a d'abord la base SITRAM du SESP, accessible sans discrimination, qui résulte d'un travail de longue durée d'harmonisation des données entre les modes (plus de trente ans).

Il s'agit d'un exemple unique en Europe, même si des efforts sont faits dans d'autres pays pour constituer des bases multimodales de trafics, notamment à l'occasion d'exercices périodiques de planification des infrastructures de transport comme cela est le cas en RFA, Pays Bas, Italie, Suisse, Autriche et Espagne.

Une difficulté majeure est celle de la connaissance des flux de trafic routier qui ne peut se faire que par enquêtes ou sondages dans des documents de transport<sup>5</sup>.

La fiabilité des données routières résulte de la représentativité de l'échantillon considéré : il peut être considéré comme fiable en France pour les trafics entre régions, à un niveau assez détaillé de type de produits.

Cette représentativité est plus difficile à assurer pour le transport international :

---

<sup>5</sup> Attention, là encore il n'est pas question de produire ici une analyse ou une critique des statistiques disponibles : il s'agirait d'un autre travail. L'objectif est avant tout de mieux cerner les contraintes de la définition d'un modèle de génération, problème trop souvent négligé. Et par voie de conséquence d'insister sur le travail à faire, au préalable, sur la matrice de flux, travail souvent plus important que la formulation du modèle. Une erreur fréquente est de vouloir retrouver dans le modèle de génération des corrélations entre variables économiques et variables de transport dont la décomposition n'est pas disponible au niveau de l'information de base, qui doit servir à calibrer le modèle ! au sein de progiciels assez complexes de telles erreurs sont difficiles à déceler, de sorte que l'on conserve « l'illusion » d'un modèle explicatif (cf. conclusion du chapitre)

- parce que l'échantillon n'est pas suffisant pour décrire l'ensemble des flux internationaux au niveau région x région et, qui plus est, par type de produits.
- parce que les véhicules français enquêtés ne représentent qu'une part du marché : cette part a décliné et est même devenue très faible pour le transit.

Une autre difficulté, de plus en plus contraignante, est celle de la confidentialité des données qui affecte dorénavant tous les modes y compris le mode ferroviaire, suite à l'ouverture du marché ferroviaire et à la concurrence que se livrent les modes, sur le marché national et international : même si des données existent au niveau des entreprises elles sont plus difficilement communiquées.

Les sources douanières sont aussi importantes, mais elles ont d'abord vocation à traiter du « statut » douanier de la marchandise, et la disparition des frontières européennes en 93 a considérablement appauvri l'information douanière relative aux transports et aux points de passage frontalier<sup>6</sup>. Ceci étant le DAU (document administratif unique) permettait dans le même temps, un travail d'harmonisation européenne pour les échanges « extra » communautaire, travail qui n'a, jusqu'à présent, qu'assez peu bénéficié aux travaux de modélisation du transport européen.

Concernant les autres bases de données nationales, utiles pour un modèle français de trafic de marchandises il faut mentionner le cas de la RFA, principal partenaire de la France, qui conduit périodiquement un travail lourd d'analyse et de projections de flux, pour le plan d'infrastructure. Ce travail s'appuie sur les informations, et en particulier les informations routières accessibles auprès de l'institut national statistique.

---

<sup>6</sup> Cela a justifié l'enquête aux frontières. Lancée au 93 à l'initiative du CEDIT dans le cadre du PRDTT (programme de recherche).

Toutefois les flux concernant la France et les autres pays voisins sont regroupés à un niveau plus agrégé que le niveau régional. Leur confrontation avec les données SITRAM, qui ne détaillent pas les flux en RFA, présente néanmoins un intérêt pour mieux appréhender les flux interrégionaux, notamment entre la France et la RFA, (ainsi qu'entre la RFA et les autres pays européens).

Plusieurs intervenants allemands, ayant participé à ce travail de planification, en Allemagne ont participé au séminaire MODEM (notamment des représentants de BVU et de l'Université de Karlsruhe).

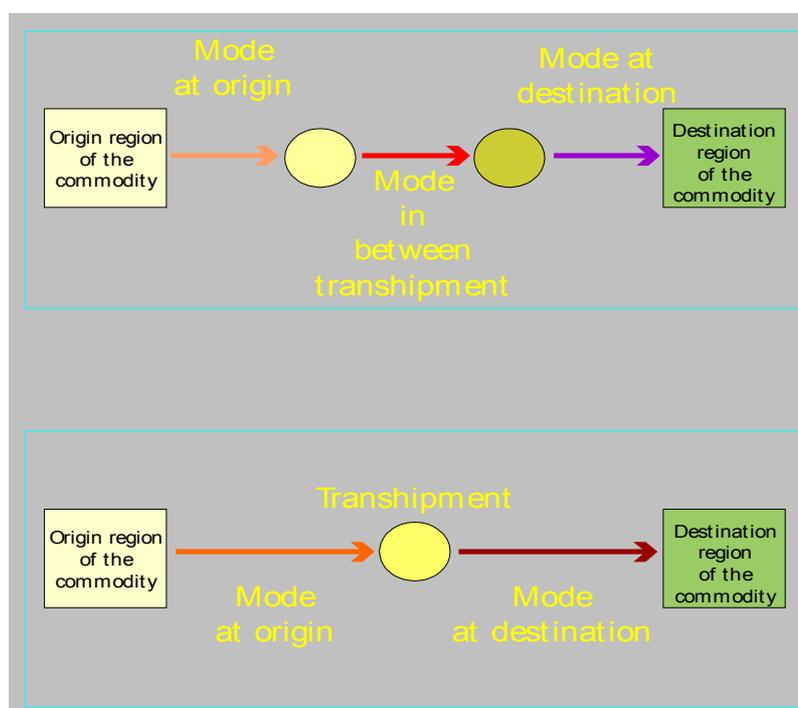
### *1.2 Les données européennes et le projet ETIS<sup>7</sup>*

Une intervention d'un représentant de NEA a permis de faire un point sur les données disponibles à l'échelle européenne: le projet européen ETIS (European Transport Information System) avait pour objectif de faire une synthèse de tout les travaux effectués depuis le début du IV PCRD concernant les statistiques de transport, et d'établir une base de donnée de référence.

---

<sup>7</sup> Le cas de l'enquête aux frontières sera traité à part, dans le paragraphe suivant.

## Transport chains



Source : NEA

Pour les marchandises le travail s'est développé à plusieurs niveaux :

- Tout d'abord l'introduction d'un concept de « chaîne » de transport permettant en particulier d'associer des données maritimes et terrestres, sans introduire de doubles comptes.

En effet l'existence d'une rupture de charge, ce qui est le cas dans un port peut introduire les doubles comptes lorsque l'on veut définir une base origine / destination : un même flux est introduit deux fois, « avant » et après la rupture de charge. Ainsi des données maritimes et portuaires ne peuvent pas être intégrées simplement dans une base de flux constituée à partir d'informations collectées auprès des modes terrestres.

Ignorer les flux maritimes (le problème est le même pour l'aérien) et considérer les ports (ou aéroports) comme des zones spécifiques de génération de trafic n'est pas une réponse satisfaisante pour la compréhension de la génération de trafic et ceci d'autant plus :

- que les flux maritimes dans l'hinterland des ports prennent une importance croissante
- que les itinéraires maritimes intra-communautaires peuvent être en concurrence directe avec les itinéraires terrestres : l'enjeu des « autoroutes maritimes » traduit directement ce phénomène puisque le but est justement de transférer un trafic routier sur un itinéraire maritime (sachant que cet objectif est un objectif prioritaire de politique de transport qu'il faut aussi « éclairer » avec le modèle de transport de marchandises).

Enfin sur le plan de l'analyse économique qui doit sous-tendre la logique du modèle de génération, on ne peut ignorer toute une dynamique d'échanges extérieurs avec les pays « d'outre mer » et les pays européens en introduisant de manière artificielle, pour des raisons d'informations statistiques non disponibles, des pôles générateurs de trafic (qui sont par exemple les ports) sans s'interroger sur le rôle économique de ces flux : la réalité de l'intégration européenne, la mondialisation ne permettent plus de considérer les échanges maritimes comme un monde « d'ailleurs ».

De ce point de vue ETIS s'est efforcé de présenter de manière cohérente une base qui intègre les flux terrestres et maritimes sachant que les chaînes dans l'hinterland des ports restent difficiles à reconstituer. Les informations sont très partielles, obtenues à l'occasion de travaux spécifiques conduits pour planifier l'activité des grands ports. La difficulté majeure provient du fait que la zone portuaire elle-même est une zone qui « absorbe » une part importante du trafic international, souvent pour des activités de

transformation (produits de base transformés dans les zones industrielles portuaires) voire pour des activités logistiques de stockage, emballage ou la redistribution, pour les produits plus élaborés : ces produits sont le plus souvent réacheminés vers d'autres régions (ou bien consommés dans la région portuaire s'il s'agit aussi d'une zone de population importante) sous un statut de transport national ou de transport intra communautaire, (pour un transport intercontinental) dans une proportion difficile à apprécier.

Le travail fourni dans le cadre de l'INRETS (SPLOT) avec l'enquête ECHO permettra aussi d'apporter, pour la modélisation de la génération de trafic, des informations intéressantes puisque la question de rupture de charge (qu'il s'agisse de ports ou de plates-formes) y est traitée.

- Les bases du commerce extérieur

Il s'agit d'abord de la base européenne dite COMEXT des flux d'échanges entre les pays de l'UE, ainsi que les flux entre les pays tiers.

Cette base constitue la référence principale de la connaissance des flux internationaux.

- elle est produite avec beaucoup de détail en ce qui concerne la nature des produits aussi bien dans les différentes nomenclatures économiques que dans la nomenclature de transport NST (au niveau trois chiffre).
- elle fournit une information sur le mode de transport.
- mais elle n'est, en général, pas disponible au niveau régional : les échanges sont fournis entre les pays.

Au niveau de la désagrégation par produit il n'y a pas de remarques particulières si ce n'est que cette base offre d'énormes potentiels pour les analyses de structure du commerce extérieur.

De telles données ont par exemple été utilisées pour montrer l'importance croissante des échanges intra branches, ce qui montre toute la difficulté aujourd'hui pour modéliser les échanges entre pays puisque la logique des échanges intra branches peut difficilement être reproduite. COMEXT est publiée avec des délais relativement limités<sup>8</sup>.

Les informations sur les modes sont utiles, mais comme les trafics sont repartis suivant un seul mode (le mode déclaré), cette base n'entre pas dans le détail de la construction de chaînes multimodales : en d'autres termes les informations modales sont additives et s'il n'y a pas, en pratique, de double compte, l'estimation de la répartition des flux maritimes sur les modes terrestres reste à faire, et à traduire, notamment, en flux interrégionaux terrestres pour les différents modes terrestres<sup>9</sup>.

Il a été vu que au niveau européen cette base est présentée sous la forme d'échanges pays x pays (présentation dans les bases statistiques de l'UE) mais certains pays la publient également sous la forme d'échanges régions x pays.

Ceci étant certaines interrogations demeurent toujours sur la localisation précise de l'origine ou de la destination du produit au sein d'un pays, voire dorénavant au sein de l'Europe depuis la mise en place du marché unique ; on retrouve ici un problème plus général qui est celui de l'identification d'une origine et d'une destination au sein de chaînes logistiques plus complexe qui

---

<sup>8</sup> Environ l'année

<sup>9</sup> Travail de reconstitution de chaînes mentionnée précédemment

comprennent des opérations de conditionnement, stockage et de ruptures de charges<sup>10</sup>.

Enfin il faut souligner que les pays « déclarants » de la base COMEXT sont les pays « émetteurs » et « récepteurs » déclarant les produits à l'exportation et à l'importation (pays de l'Union Européenne) : pour les échanges intra européens il y aura donc deux déclarations pour un produit échangé entre deux pays : le résultat est que les volumes d'importation et d'exportation entre deux pays concordent rarement, et, en particulier, au niveau des informations publiées par mode. C'est le cas notamment du Royaume Unis dans la mesure où les chaînes de transport sont en général multimodales, mais où l'enregistrement d'un échange se fera sous la rubrique d'un seul mode.

La base COMTRADE de l'ONU donne les échanges entre tous les pays du monde, suivant la nomenclature économique, qui sont aussi très détaillés. Mais elle n'est pas disponible par mode, ni suivant la nomenclature NST des transports :

- TRM international, et base de donnée portuaire

TRM international et la base de données portuaires d'EUROSTAT sont deux sources transport complémentaires publiées par l'Union Européenne.

TRM international est une source jusqu'à présent peu utilisée car pas vraiment adaptée pour un modèle de génération. La base « TRM international qui a été reconstituée pour les flux région x région de trafic routier à partir d'informations fournies par les pays européens.

---

<sup>10</sup> Ce problème se retrouve dans l'élaboration d'un modèle de génération lorsque l'on s'efforce de produire une logique d'émission, et de réception d'une zone, ainsi que dans l'affectation sur itinéraire, lorsque des zones logistiques jouent un rôle d'attraction qui « détourne » la marchandise d'un trajet plus direct.

Suite à l'internationalisation des échanges et l'ouverture du marché européen du transport routier (y compris pour le cabotage routier) une proportion croissante de camions étrangers circule en effet sur les routes des différents pays.

Pour un pays donné cette information devient de plus en plus difficile à saisir si ce n'est par le biais d'enquêtes spécifiques auprès des conducteurs, qui sont rarement conduites (exception faite de l'enquête CAFT mentionnée ci-après) : les enquêtes nationales auprès des transporteurs nationaux ne donnent plus une vision représentative de la circulation des camions.

La base TRM internationale, constituée à l'échelle d'un ensemble de pays, l'Union Européenne, pallie en partie ce manque d'information. Mais l'information reste partielle et les taux de sondages sont souvent limités. L'information sur le type de produit transporté n'existe qu'au niveau des pays : il est difficile par conséquent de l'utiliser pour rechercher une relation entre l'activité économique régionale et les flux émis ou reçus, relations auxquelles s'attache un modèle de génération interrégionale.

La base de données portuaires est récente et donne un éclairage intéressant pour le trafic maritime.

Cette base fournit par ports les trafics d'échanges avec les différents pays du monde, pays de l'Union Européenne et autres pays du monde.

Elle fournit donc une information complémentaire intéressante pour les échanges maritimes intra européens ainsi que pour les relations avec les pays voisins de la Méditerranée, de la Baltique et de la Mer Noire. Elle donne aussi les échanges des ports avec les pays d'autres continents et

notamment avec les pays émergents d'Asie ou d'Amérique Latine qui augmentent rapidement depuis une dizaine d'année.

Toutefois l'information est limitée sur la nature de ces échanges : il n'y a pas de précision sur les types de produits mais seulement une distinction suivant que les produits sont transportés en conteneurs, en vrac, par navires conventionnels (General Cargo) ou RoRo.

### *1.3. Le cas particulier de l'enquête aux frontières (CAFT)*

L'enquête aux frontières avait été conçue dans la perspective de la disparition de données douanières après 93 (date du marché unique) par le CEDIT (Commission d'évaluation de l'information en Transport du programme de recherche PRED3T). Elle avait aussi pour vocation d'estimer les flux de transit à travers la France dont l'information n'était plus publiée par les douanes depuis 1973.

Conçue à l'origine en France, pour le trafic transpyrénéen, (il faut se rappeler de l'entrée de l'Espagne et du Portugal en Europe en 1986) et le trafic transalpin, cette approche à très vite été reconnue comme particulièrement intéressante par les autorités Suisses et Autrichiennes. Elle a été étendue, dès la première année d'enquête, en 1993, à l'ensemble des Alpes ce qui fait qu'elle est aujourd'hui plus connue en Europe sous le nom d'enquête CAFT (Cross Alpine Freight Traffic).

Trois séries d'enquête ont eu lieu en 1993, 99/2000, 2004/2005, avec différents points de passages frontaliers terrestres, les Pyrénées et les Alpes. Les enquêtes concernent d'abord les camions, les entreprises ferroviaires fournissent une information compatible avec l'information routière.

L'intérêt de cette enquête est qu'elle a été conçue pour les besoins d'une analyse de transport avec une information sur les origines, les destinations, les points de passage frontalier, les caractéristiques des véhicules, et, pour la France, des informations sur les itinéraires<sup>11</sup>.

Aussi l'enquête CAFT fourni une information particulièrement intéressante sur les flux d'échanges avec l'Espagne le Portugal et l'Italie, flux saisis au passage des Pyrénées et des Alpes. Les flux maritimes ne sont donc pas encore intégrés. Les flux ferroviaires sont fournis pour les opérateurs ce qui, dans les années à venir, pourrait être plus difficile à obtenir, compte tenu de la compétition ferroviaire qui se développe à travers les Alpes et demain, à travers les Pyrénées.

#### **Illustration : flux de trafic routier (véhicule/24h) – CAFT 1999**



Source : ALPNET

---

<sup>11</sup> Pour plus de détail voir les informations du SESP et en particulier les notes de synthèse qui font référence périodiquement à cette enquête.

## Exemple d'exploitation de CAFT 2004

### Wagon isolé

Point passage	Origine	Dest.	Ml tonnes
Semmering	AT	AT	3 100
Fréjus/Mont-Cenis tunnels	FR	IT	2 879
Brenner	DE	IT	2 384
Gotthard	DE	IT	1 699
Simplon	DE	IT	1 398
Tauern	AT	IT	1 181
Schoberpass	AT	DE	1 147
Gotthard	CH	CH	1 123
Schoberpass	AT	AT	1 051
Tauern	SI	AT	886
Tauern	AT	AT	859
Semmering	PL	AT	814
Schoberpass	DE	AT	755
Brenner	AT	IT	709
Simplon	FR	IT	688
Fréjus/Mont-Cenis tunnels	IT	FR	680
Tauern	AT	DE	650
Semmering	SK	AT	602
Gotthard	FR	IT	581
Semmering	AT	IT	507

### Combiné non accompagné

Point de passage	Origine	Dest.	Ml tonnes
Brenner	DE	IT	2 788
Gotthard	DE	IT	2 099
Brenner	IT	DE	1 679
Gotthard	BE	IT	1 573
Gotthard	IT	DE	1 148
Gotthard	IT	BE	1 021
Fréjus/Mont-Cenis tunnels	FR	IT	995
Gotthard	NL	IT	954
Fréjus/Mont-Cenis tunnels	IT	FR	785
Gotthard	IT	NL	621
Tauern	AT	AT	467
Simplon	CH2	IT	451
Simplon	IT	BE	404
Simplon	DE	IT	384
Simplon	IT	DE	378
Fréjus/Mont-Cenis tunnels	BE	IT	367
Fréjus/Mont-Cenis tunnels	IT	BE	320
Gotthard	IT	UK	279
Gotthard	SE	IT	276
Gotthard	CH	CH	275

**Roro**

Point de passage	Origine	Dest.	Ml tonnes
Brenner	IT	DE	600
Brenner	DE	IT	538
Simplon	IT	DE	346
Simplon	DE	IT	321
Tauern	DE	TR	219
Gotthard	IT	DE	198
Tauern	TR	DE	188
Gotthard	DE	IT	180
Schoberpass	TR	DE	132
Schoberpass	DE	TR	132
Simplon	NL	IT	126
Brenner	IT	PL	80
Simplon	BE	IT	79
Brenner	PL	IT	75
Simplon	IT	NL	73
Simplon	FR	IT	72
Simplon	IT	FR	68
Tauern	PL	IT	62
Tauern	IT	PL	60
Simplon	IT	BE	52

#### *1.4. Conclusion du chapitre sur les bases de données*

En conclusion de ce paragraphe sur les bases de données dont la vocation n'est certainement pas de décrire le contenu de ces bases <sup>12</sup> mais de montrer les limites qui s'imposent dans la construction d'un modèle de génération de trafic, plusieurs remarques doivent être soulignées :

- Il ne faut pas rechercher dans la construction d'un modèle de génération des détails ou traduire des mécanismes (relations entre variables explicatives et résultats du modèle) que les bases de données sur les flux (qui serviront à valider les modèles) sont bien incapables de traduire ou de « refléter » : il s'agit là d'une simple règle de logique scientifique, très souvent transgressée.

---

<sup>12</sup> Voir de ce point de vue les derniers travaux de recherche du PCRD, EUROPE, du CEDIT et du SESP en France.

- En effet cette notion de segmentation de marché et de groupes de produits reste essentielle dans la définition d'un modèle de génération, destiné à décrire le lien entre une activité économique et une activité transport, même si elle demeure très difficile à conserver dans la définition d'une base de données de trafic de référence. Ceci étant, il est vrai, aussi que l'existence d'échanges intra branches conduit à être réaliste sur la possibilité de saisir de telles relations, point sur lequel il faudra revenir.
- Les informations sur les flux origine / destination seront toujours partielles et incomplètes : les sources sont des informations du commerce extérieur, des informations modales, voire parfois des enquêtes (enquête CAFT) qu'il faut agréger pour constituer un ensemble aussi cohérent que possible. Il y a toujours un travail de longue durée et souvent des approximations : la base s'améliore au fur et à mesure que des informations plus fiables peuvent être intégrées. La qualité varie d'un mode à l'autre, d'un pays à l'autre suivant les méthodes utilisées (exemples d'estimations des trafics routiers) voire le positionnement du pays (les pays avec un important trafic maritime doivent faire face à une information plus complexe à obtenir sur les chaînes de transport).
- En général la base de donnée sur les trafics sera le résultat de données observées (avec les limites mentionnées précédemment) mais aussi de données estimées.

Face au manque d'informations disponibles sur certains flux, le modèle de génération sera aussi, souvent, un modèle d'estimation de « flux manquants ». Des relations économétriques sont obtenues entre l'activité économique et les flux générés, à partir de données disponibles, fiables, pour être appliquées sur des zones où cette information n'existe pas. La consolidation des estimations ne pourra se réaliser qu'à un niveau plus

agrégé, qui pourra être celui des relations pays x pays, en utilisant par exemple COMEXT.

En ce qui concerne les recommandations pour un modèle national intégré dans un contexte d'échanges internationaux, on peut souligner :

- (1) - Le recours à SITRAM pour les échanges nationaux ainsi que les échanges entre les régions et les pays.
- (2) - Le recours à des bases de données de pays voisins (ex RFA) pour préciser la répartition, entre régions à l'étranger, des flux du commerce extérieur français et des flux susceptibles de transiter par la France.
- (3) Le recours à CAFT pour les échanges de l'Italie et de la Péninsule Ibérique (Espagne, Portugal) qui génèrent un flux important de transit sur le territoire français.
- (4) Le recours à COMEXT pour s'assurer en permanence d'une cohérence globale au niveau des échanges pays x pays pour les principaux groupes de produits retenus.

## **2- Le modèle de génération / distribution**

Il y a plusieurs niveaux de modèle de génération, du niveau national (macro économique) au niveau régional ou local.

Longtemps les modèles de génération pour la planification nationale en France se sont limités au niveau macro-économique où l'objectif était de déterminer l'évolution du potentiel transportable tous modes, en fonction de variables macro-économiques telles que le PIB, la production industrielle, voire le commerce extérieur.

Lors des exercices de projections réalisés pour les schémas de services, la croissance du trafic de marchandises publiée résultait d'une démarche de type macro-économique.

Ceci étant les objectifs d'application des modèles de trafic conduisent très vite à effectuer deux types de désagrégation :

- Une désagrégation par type de produit pour mieux comprendre les besoins de la demande : la structure de la demande par type de produit évolue rapidement, de même que les exigences en termes de qualité, qui ne sont pas les mêmes suivant les types de marché. On retrouve ici le problème de la segmentation de la demande (approche de type macro économique).
- Une désagrégation spatiale par régions afin de mieux comprendre l'évolution des flux qui s'affectent sur les réseaux de transport, voire pour distinguer les niveaux du transport national et international dont les logiques d'évolution en fonction du contexte économique diffèrent ; il a été vu que, actuellement, le transport international croît beaucoup plus vite que le transport national, qu'il s'agisse du

transport entre pays européens (intégration européenne) ou du transport entre la France et les autres pays du monde (mondialisation).

Dans l'optique du projet MODEM, il était convenu de s'attacher plus particulièrement à des modèles dits « de réseaux » qui comprennent un travail d'affectation sur réseau et qui supposent donc, à la base, un modèle de génération / distribution par région.

Ce modèle doit nécessairement prendre en compte la dimension des échanges internationaux qui représentent une charge non négligeable et croissante sur les réseaux nationaux : ces échanges internationaux doivent aussi être considérés au niveau région x région pour une affectation suffisamment précise sur le réseau national.

Ceci étant les modèles dit macro-économiques ou micro-économiques ou meso-économiques ne perdent pas tout intérêt, ne serait-ce que pour fixer des ordres de grandeur d'élasticités entre la croissance de l'activité économique et du commerce international et la croissance des trafics. En effet les chiffres produits sur ces élasticités demeurent très variables d'un pays à l'autre et il importe aussi d'en comprendre les raisons :

- S'agit-il d'une différence de la structure du potentiel transportable par type de produit, phénomène qui a fait baisser l'élasticité du potentiel transportable durant les 30 dernières années en France, et dans les années récentes, fait chuter le potentiel transportable des pays d'Europe centrale ?
- S'agit-il d'un impact différent du commerce extérieur, avec des parts plus importantes du trafic international dans certains pays, sachant que l'élasticité du transport international au PIB est bien supérieure pour le trafic international que pour le trafic national ?

Les derniers travaux du CGPC sur les perspectives 2050 se sont penchés sur cet aspect d'évolution de cette élasticité au niveau national en différenciant les types de produits et en liant ce phénomène à des hypothèses de délocalisation.

Concernant les modèles de génération désagrégés par régions, il y a bien sûr plusieurs voies pour parvenir à une telle désagrégation, suivant que l'on se situe au niveau européen ou national, suivant que l'on privilégie une logique économique ou une logique plus « physique » de type « gravitaire » : aux niveaux français et européen les deux approches ont été développées et il importerait d'en tirer les conséquences.

Quoiqu'il en soit le résultat aujourd'hui est que la génération de trafic de marchandises est traitée au niveau national, quitte à introduire par la suite un modèle de répartition entre les régions.

Il n'y a pas de modèle de génération de trafic à un niveau régional distinct d'un modèle de distribution.

Cela signifie que les étapes de génération et distribution sont traitées simultanément comme cela est, par exemple, le cas des modèles gravitaires qui s'attachent directement à l'estimation de flux entre deux régions.

### *2.1. Les modèles macro économiques*

Dans ces modèles le potentiel transportable est présenté en tonnes - kilomètres. Les évaluations en tonnes sont souvent très peu fiables en raison notamment de la difficulté pour comptabiliser les transports à courte distance (ces transports représentent, « en tonnage », une part considérable, avec toujours des risques de doubles comptes puisqu'il y aura souvent rupture de charge).

Certaines versions de ces modèles conduisent à distinguer un potentiel « hors produits énergétiques » (qui représentent une part importante avec des logiques économiques propres) voire un potentiel hors « produits en vrac » qui obéissent à des logiques de chaînes logistiques particulières (minerais, matériaux de construction..).

Dans l'exercice MODEM ces modèles, le plus souvent estimés à partir de séries chronologiques ont surtout pour intérêt de fournir des ordres de grandeur pour les élasticités, sachant que les modèles de réseaux seront estimés de manière différente sur des données « en coupe » (données de l'année de base) : ainsi ils apportent un complément d'éclairage pour les projections qu'il ne faut pas négliger.

On constate par exemple que les élasticités globales du potentiel transportable (tous trafics nationaux confondus) par rapport au PIB varient de 0.5 à près de 2 suivant les pays, ce qui s'explique probablement par leur densité de population et d'activité, leur structure de production, leur niveau de développement. Ceci étant ces différences reflètent sans doute aussi des différences de méthodes d'estimation sans lesquelles les écarts ne seraient sans doute pas aussi importants.

Pays	Élasticité sur la période 1970-2002	
	Exports	Imports
Allemagne	2.3	2.0
Espagne	2.4	2.8
UK	1.9	2.2
Italie	2.1	2.0
France	2.2	1.9
Belgique	1.9	1.8
Pays-Bas	2.0	1.8
Portugal	1.8	1.9

Source : JC Meteyer (CGPC 2050)

Dans les phases de forte croissance économique l'élasticité est en général supérieure à celle calculée durant les phases de faible croissance ou de régression : les transports semblent accentuer les fluctuations de l'économie.

Mais là encore des phénomènes inverses peuvent être observés comme cela a été le cas pour certains pays d'Europe Centrale, compte tenu de l'ampleur des réformes industrielles, affectant les transports de produits lourds.

« L'intensité » du transport de marchandises qui serait un nombre de tonnes transportées par unité de valeur de production n'a pas fait l'objet véritablement d'études et les « intensités » de transport de marchandises par pays (volumes transportés rapportés au PIB) restent toujours difficile à interpréter, qu'elles soient mesurées en tonnes ou même en tonnes kilomètres.

## *2.2 Les modèles « meso-économique » :*

Sous le vocable de modèle «meso-économique, on se réfère en réalité aux trafics générés par différentes branches de l'activité économique.

L'idée initiale est que les changements de structure de production (mesurés en valeur des produits à la production) ont une incidence sur le potentiel transportable (mesuré en tonnes) : la valeur des produits à la tonne diffère d'une branche à l'autre.

Au niveau du transport, la distinction est faite par type de produit.

L'impact de cet « effet structurel » qui est bien connu, sur l'activité des modes de transport a été mesuré à plusieurs reprises en faisant une distinction par grands groupes de produits (10 chapitres de la NST).

Mais en réalité cet effet joue à un niveau plus fin au sein de ces grandes familles de produits.

De plus de nouveaux phénomènes d'échanges au sein des branches se produisent avec la spécialisation des unités de production voire leur délocalisation au sein des pays, entre les pays.

Ainsi, dans les échanges avec les pays d'Europe centrale nouveaux membres de l'Union Européenne, les échanges entre industries au sein d'une même branche représentent près de la moitié des échanges : la chimie, et l'automobile en donnent les meilleurs exemples. Pour les produits de grande consommation les chaînes de transport se sont complexifiées, avec une succession d'opérations de consolidation/dégrouperment pour améliorer les performances du transport et qui ont pour conséquence de multiplier les flux d'échanges entre régions, suivant la localisation des plates formes européennes, nationales, ou régionales.

Les modèles meso-économiques se sont développés en France depuis le début des années soixante dix avec les modèles PRETRAM (trafics intérieurs) et TRIMAR (trafics internationaux) du SAEI pour une dizaine de groupe de produits. Ils ont été aussi approfondis par le LET par la suite, qui a introduit des variables supplémentaires caractérisant la concurrence entre modes.

Dans les travaux récents le SESP s'est penché à nouveau sur ces logiques sectorielles, pour les exercices de projection 2050 mais aussi pour mieux appréhender les logiques d'échanges internationaux (problèmes d'élasticités

de croissance d'échanges internationaux par type de produit et ceci notamment pour le trafic transpyrénéen avec le BIPE).

Tous ces travaux ont donc l'intérêt de mettre en avant l'importance de la « segmentation » du marché du point de vue de la demande.

Cette segmentation du marché est contrainte :

- (a) par la disponibilité d'information par type de produits (avec le problème du manque d'homogénéité des bases qui doivent parfois être combinées).
- (b) Par le nombre de segments qu'il est possible de retenir, sachant qu'il est toujours difficile de gérer un modèle de transport qui aurait plus de 10 ou 20 types de produits.

Concernant les types de produit il y a toujours le passage entre nomenclature économique (qui donne l'activité des branches) et la nomenclature transport (la NST, nomenclature suivant laquelle la plupart des informations de transport sont enregistrées).

Or il est bien connu que la nomenclature transport est depuis longtemps dépassé et qu'elle reflète mal la réalité des échanges économiques actuels. Conçue initialement pour les échanges de produits pondéreux et les échanges agricoles elle devient très insuffisante et parfois difficile à interpréter sur le plan de l'analyse des productions pour beaucoup de secteurs d'activité qui occupent une part croissante dans la valeur ajoutée nationale.

Ces faiblesses existent aussi bien au niveau le plus détaillé de la NST (« positions » de la NST), qu'au niveau des regroupements qui ne peuvent être effectués.

Dans le regroupement en 10 chapitres, qui est souvent le regroupement de référence pour la modélisation de transport il faut souligner :

- Au niveau des produits agricoles (chapitres 0 et 1) l'agrégation de produits à valeur ajoutée élevée (fruits et légumes, laitages) et des produits de vrac agricoles (céréales, bois, aliments du bétail) : or ces produits représentent chacun des volumes non négligeables traités suivant des modalités de transport très différentes (par exemple, d'un côté des produits sous température dirigée et de l'autre des produits transportés en vrac).
- Dans le secteur des matériaux de construction, une distinction doit être faite suivant qu'il s'agit de sable et de minéraux bruts (pierres) ou de produits beaucoup plus élaborés qui entrent aujourd'hui dans la construction des logements.
- Dans le secteur de la chimie et des engrais, les nomenclatures ne correspondent plus aux structures de production, dans un domaine où les échanges entre régions et pays ont toujours été élevés.
- Enfin les produits industriels de la nomenclature sont traités de manière très globale, sans véritable segmentation.

Différentes hypothèses de regroupement ont alors été proposées pour la modélisation afin de dépasser la segmentation en 10 chapitres NST, qui a montré ses limites.

Le tableau suivant illustre une telle tentative

<b>Groupe de produits</b>	<b>Correspondance NST/R</b>
1 – Produits agricoles et céréales	00 01 04 06 09 17 18
2 – Denrées alimentaires (dont boissons)	02 11 12 13 16
3 – Denrées alimentaires conditionnées	03 14
4 – Bois et pâte à papier	05 84
5 – Minerai de fer	41 45 46
6 – Produits pétroliers et charbon	21 22 23 (31) 32 33 34
7 – Produits métallurgiques	51 52 53 54 55 56
8 – Ciment et autres matériaux de construction manufacturés	64 69
9 – Minéraux bruts et matériaux de construction	61 62 63 65
10 – Produits chimiques de base	81 83
11 – Engrais	71 72
12 – Autres produits chimiques (dont Matières plastiques)	82 89 (891)
13 – Matériel de transport	91 92 939
14 – Biens d'équipement	931
15 – Textile habillement	96
16 – Autres produits manufacturés	94 95 97 99

### *2.3. Les modèles de génération/distribution interrégionaux*

Tout d'abord il convient de rappeler qu'il est difficile de concevoir un modèle de génération indépendant d'un modèle de distribution spatiale pour les marchandises, à la différence de la modélisation du transport de voyageurs, où l'on parle de mobilité indépendamment des destinations : les modèles présentés sont des modèles « génération/distribution.

Dans ces modèles deux logiques peuvent alors être privilégiées.

- Une logique d'échanges, privilégiant des mécanismes économiques de compétitivité entre zones de production, et des mécanismes de logique intersectorielle (modèles input/output)
- Une logique plus « physique » faisant directement référence à un modèle de type gravitaire avec, comme input, des variables d'activité économique (voire des variables démographiques) et comme output, des données de trafics mesurées en tonnage.

Dans le premier cas les estimations de flux d'échanges exprimées en valeur des produits échangés, doivent être traduites en tonnage transporté, après utilisations d'un coefficient de « valeur à la tonne » pour un type de produit donné.

Dans le deuxième cas le modèle est directement calibré sur des flux observés à partir d'indicateurs économiques traduisant des facteurs d'émission et d'attraction d'une région.

Dans les différentes recherches européennes du IV, V, VI PCRD, dont l'objectif était de préciser l'intérêt du développement de réseaux transeuropéens, les deux approches ont été développées.

- A partir des matrices d'échanges d'input / output entre pays pour différents secteurs.

Dans un deuxième stade ces matrices devaient être désagrégées en échanges entre régions des différents pays et traduites en tonnage : la question la plus délicate est bien entendu celle de la désagrégation régionale.

A noter également l'expérience originale du modèle ASTRA, développé par l'Université de Karlsruhe (IWW) dans plusieurs projets du PCRD qui introduit

des méthodes de modélisation « de système dynamique » pour des échanges entre régions au niveau de l'Europe : plusieurs « types » de régions sont considérés suivant leurs caractéristiques socio économiques, les politiques régionales appliquées et les trafics échangés avec d'autres régions.

ASTRA a été d'abord appliqué dans le projet SCENARIOS, puis le projet SCENES et est intégré dans le modèle TRANS TOOLS auquel l'Union Européenne fait référence depuis l'évaluation des résultats du Livre Blanc à mi-parcours (2001-2006).

- A partir de matrices de flux d'échanges entre les régions telles qu'elles ont été présentées dans le chapitre précédent.

Au niveau national des tentatives de construction d'un modèle interrégional d'échanges ont été conduites et présentées au séminaire MODEM, notamment pour la France et l'Italie.

En France cela a été le cas de premières tentatives réalisées par le SAEP au début des années quatre vingt avec le modèle dit REGINA (modèle régional français) mais les confrontations avec des flux de trafic observés de SITRAM demeuraient difficiles et les zones du modèle REGINA (à partir desquelles on disposait de données d'échanges régionalisés) demeuraient trop vastes pour garder un intérêt sur les plans du transport (7 à 8 zones en France).

Par la suite le SES est revenu sur ces approches économiques régionales en s'efforçant de modéliser les trafics interrégionaux ainsi que les trafics d'importation et d'exportation des régions : les difficultés de ces approches

qui n'ont pas pu réellement aboutir ont été discutées lors du séminaire MODEM<sup>13</sup>.

Des chercheurs italiens travaillent actuellement sur la construction des matrices input / output interrégionales d'échanges pour l'Italie mais les travaux présentés n'ont pas encore été menés à leur terme (travaux aussi présentés lors du séminaire).

Dans le cas de l'utilisation d'un modèle gravitaire qui reste le plus fréquent les expériences conduites au niveau européen et national conduisent à un certain nombre de précautions à prendre et de remarques, liées en particulier aux contraintes de données mentionnées précédemment.

- Tout d'abord pour la fonction d'impédance, il semble qu'une fonction de la distance donne des résultats assez satisfaisants et qu'il ne soit pas nécessaire de construire, à ce stade, des fonctions plus compliquées qui agrègent tout un ensemble de données relatives à l'offre du transport : fonctions de temps et de coûts de transport des différents modes, voire de temps et de coûts généralisés qui posent en outre la question délicate, et controversée de la valeur du temps pour les marchandises<sup>14</sup>
- Au niveau des variables explicatives il faut bien prendre conscience que l'explication économique ne sera jamais simple et ceci, en particulier, à cause des échanges intra branches.

L'importance des échanges « intra branches » fait qu'il est parfois difficile de déceler si une variable économique d'activité d'une branche donnée (valeur

---

<sup>13</sup> Voir sur ce sujet notamment les publications de Christian CALZADA, qui ont été présentées il y a plusieurs années dans les séminaires de modélisation du SES

<sup>14</sup> Cf. à cet égard le rapport sur le calcul économique de M. Boiteux, qui ne nie pas l'intérêt d'un tel débat, mais propose d'approfondir les recherches sur le sujet : dans les recommandations de MODEM on s'efforce de montrer que ce débat n'est pas fondamental pour développer un modèle aujourd'hui

ajoutée ou emploi) aura un effet « positif » ou « négatif » sur un flux sortant ou entrant : une telle incertitude est toujours difficile à accepter dans un modèle, si on veut lui garder une valeur « explicative ».

D'où l'intérêt d'une position sur l'utilisation de variables explicatives qui doit conduire à se limiter à des variables explicatives agrégées, distinguant quatre ou cinq grands secteurs : agriculture, construction, énergie, industries de transformation, industries extractives par exemple. Sans nécessairement rechercher un lien direct entre une variable sectorielle et un type de trafic, identifié par le transport d'un type de produit.

Le choix de variables d'emploi peut apparaître intéressant dans la mesure où les emplois sont des données plus facilement accessibles et détaillées au niveau régional.

Mais ce faisant il y a aussi le risque de tomber dans la difficulté soulevée précédemment, liée à l'importance des échanges intra branches : souvent leur intérêt est illusoire pour donner à ces variables une valeur « explicative » (même si pour l'année de base la « corrélation » est améliorée).

En outre il y aura toujours la question de la projection des emplois pour l'utilisation du modèle : une projection d'emplois suppose que, par delà les projections de l'activité de la branche, des considérations soient introduites, par région, sur la productivité du travail.

Concernant les échanges internationaux entre régions il semble préférable de les traiter sur le même plan que les échanges nationaux interrégionaux : les formulations du modèle restent ainsi homogènes, pour un marché qui s'unifie et s'intègre. Dans la mesure où les effets frontières ne peuvent être ignorés, sous peine de rendre tout test de validation statistique difficile, ils pourront alors être traités par l'introduction de variables « muettes ». Dans

les échanges européens ces variables « muettes » jouent encore un rôle important et traduisent différents niveaux d'intégration européenne des économies : ceci étant les recherches sur ces variables reflétant un effet frontière, seraient limitées.

#### Formule gravitaire (NESTEAR)

$$T_{ijg} = \frac{P_i^\alpha P_j^\beta E_i^\theta I_j^\varphi GDP_{ig}^\gamma GDP_{jg}^\lambda * f(d_{ij})}{\sum_z G_{iz} * f(d_{iz})}$$

- **Tij** Flux de zone i à zone j,
- **Pi et Pj** Population ou emplois (par secteur) de zone i et j,
- **g** Les modèles sont calibrés pour chaque type de produit g
- **GVAi et GVAj** PIB et GVA par secteur de zone i et j
  
- **dij** Distance de zone i à j
  
- **C** Constante
  
- **α, β, θ, φ, γ:** Paramètres
  
- **dummy\_k** k est le pays (11 Pays dans Modèle), dummy\_k=1 si le flux entre ou sort du pays k (FR 1, BE 2, DE 3, ES 4, IE 5, IT 6, LU 7, NL 8, PT 9, UK 10, CH 11), sinon dummy\_k=0
  
- **dummyG:** dummyG=1 si le flux entre et sort d'un même pays, sinon dummyG=0

*Les variables explicatives retenues sont celles qui satisfont au test de « student » (et donnent la valeur plus élevée pour ce test).*

*Les variables dummy traduisent les effets « frontières » par pays, ainsi que les différences de spécialisation et d'intégration des économies européennes.*

- Enfin la question de la projection et donc de l'utilisation du modèle ne doit pas être perdue de vue.

Cela suppose que les variables explicatives puissent être projetées à l'horizon donné dans un cadre qui est celui de l'Europe, pour conserver une logique d'intégration européenne (voire mondiale) de l'économie nationale.

Cette dernière remarque, qui avait conduit à une certaine prudence sur l'utilisation de certaines variables économiques, comme l'emploi, suppose donc de disposer pour la France d'un scénario européen.

### **RECOMMANDATIONS**

De cette série de remarques on peut déduire pour ce chapitre les recommandations suivantes :

- (1) Une segmentation de la demande restructurée en une quinzaine de produits qui améliore la présentation usuelle en 10 chapitres NST (cf. exemple de segmentation utilisée dans plusieurs projets).
- (2) L'utilisation d'un modèle gravitaire permettant une meilleure adéquation avec les flux interrégionaux observés (relation directe entre indicateurs d'activités régionaux et flux de trafic exprimés en tonne). (Les effets frontières sont intégrés sous forme de variable muette).
- (3) La recherche de variables économiques régionales relativement agrégées afin d'éviter des problèmes délicats d'interprétation liés à des phénomènes d'échanges intra branches mal saisis au niveau des données de trafic (et souvent difficiles à appréhender sur le plan économique).
- (4) L'utilisation d'un scénario européen, intégrant les données cohérentes de croissance pour la France et l'ensemble des principaux partenaires européens, par grands secteurs au niveau national.

Un tel scénario existe et ses principales données sont reproduites dans le tableau ci-joint.

**France : hypothèses démographiques et économiques**

	90-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030
	% de changement			
Principales hypothèses démographiques				
Population (Million)	0.4	0.1	0.3	0.2
PIB (en MI Euros 2000)	1.9	2.0	2.1	1.7
GVA (en MI Euros 2000)	1.7	1.9	2.0	1.7
Industrie	2.1	1.9	2.0	1.7
Construction	"-1.5"	0.7	1.5	1.2
Services	1.8	2.1	2.1	1.7
Services marchands	1.6	2.2	2.1	1.8
Services non marchands	1.9	2.3	1.5	1.2
Commerce	2.1	1.6	2.5	2.2
Agriculture	1.4	"- 1.2"	0.3	0.4
Energie	3.0	1.6	1.7	1.0

**Allemagne : hypothèses démographiques et économiques**

	90-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030
	% de changement			
Principales hypothèses démographiques				
Population (Million)	0.3	0.1	0.0	"-0.2"
PIB (en MI Euros 2000)	1.6	1.2	1.7	1.0
GVA (en MI Euros 2000)	1.9	1.5	1.8	1.0
Industrie	0.0	1.4	1.7	1.1
Construction	0.1	"-2.4"	1.5	0.6
Services	2.7	1.8	2.0	1.1
Services marchands	3.9	1.9	2.2	1.3
Services non marchands	1.7	1.2	1.2	0.4
Commerce	2.2	2.5	2.3	1.4
Agriculture	2.2	0.7	1.1	0.2
Energie	0.2	0.7	0.8	0.4

Source : Commission Européenne

Mais un tel scénario n'est pas disponible au niveau régional : pour étendre ce scénario au niveau régional et introduire dans les projections une dynamique « spatiale », il est proposé de procéder comme suit :

### **RECOMMANDATIONS AU NIVEAU DES REGIONS**

- calculer les tendances passées d'évolution des variables explicatives régionales (informations disponibles dans EUROSTAT).
- projeter ces tendances et les « caler » au niveau national, par secteur, sur les taux de croissance du scénario européen.

Cette technique a été utilisée à plusieurs reprises dans des recherches européennes et des études nationales (études de NESTEAR pour RFF).

### **III - Affectation sur réseaux et contribution des modes**

Usuellement les étapes de génération - distribution de trafics, qui ont été regroupées dans le chapitre précédent sont suivies des étapes de partage modal et d'affectation.

Mais il a été vu que l'idée même de partage modal n'était plus adaptée et que le concept de chaîne de transport, pouvant impliquer plusieurs modes devait s'y substituer.

Le développement du transport intermodal rail / route, rail / VN, route / VN, pousse dans ce sens ainsi que le développement des chaînes ayant un maillon maritime.

Une première adaptation possible du modèle à quatre étapes a alors été d'introduire autant de nouveaux modes qu'il y avait de combinaisons modales possibles et de procéder comme précédemment avec un plus grand nombre de modes.

Dans le même temps les fonctions d'utilité étaient perfectionnées en intégrant des paramètres de qualité de service, facteurs auxquels les chargeurs sont de plus en plus sensibles : ces paramètres étaient estimés à partir d'enquêtes sur les préférences déclarées ou révélées.

Ces améliorations sont certainement utiles pour mieux comprendre les évolutions du transport. Mais très vite le modèle de partage modal devient difficile à gérer si le nombre de modes (ou combinaisons modales) et de paramètres augmente trop sensiblement. L'introduction d'autoroutes ferroviaires et d'autoroutes de la Mer comme éléments d'une politique de transport a encore compliqué la situation.

D'où l'idée qui s'impose progressivement de recourir à l'affectation du trafic sur un réseau intermodal (incluant éventuellement le mode maritime) pour éclairer la problématique du choix d'une solution de transport combinant, si besoin est plusieurs modes.

Une telle approche est la traduction directe d'un principe de « co-modalité ».

Ceci étant elle n'exclut pas l'intérêt d'un modèle de partage modal pour faire ressortir des grandeurs globales d'élasticités de partage modal aux différents paramètres, ou pour introduire des différences de comportement dans le choix entre différentes solutions.

Le résultat de ces remarques est alors une recommandation qui préconise de privilégier l'étape d'affectation sur réseau pour éclairer la contribution des différents modes sans pour autant écarter l'estimation d'un modèle de partage modal.

Un autre argument dans ce sens est l'importance prise par les modes d'exploitation dans les performances d'un mode de transport : les conditions d'exploitation d'une navette, d'un train direct, d'un wagon isolé, d'un train de transport combiné à partir d'un réseau de chantiers ou de ports varient considérablement en termes de coûts, de temps, de fiabilité, à l'unité transportée.

La conséquence de cette observation est qu'il faudrait aussi distinguer au sein d'un mode autant de solutions qu'il y a de modes d'exploitation ; la fonction du partage modal n'en est que plus difficile à gérer, alors que les performances d'exploitation peuvent être gérées directement au niveau de l'affectation sur le réseau.

Cette remarque a conduit l'Université de Mons<sup>15</sup> à considérer ce qui a été appelé des réseaux « virtuels ». En simplifiant on peut dire qu'il y a autant de réseaux « virtuels » que de combinaisons modales ou de modes d'exploitation.

Toutefois il faudra aussi reconnaître que la fonction d'affectation deviendra elle-même plus complexe, avec un nombre d'« attributs » toujours plus important pour décrire les capacités physiques et les modes d'exploitation des liens et des nœuds de réseau. Le « pilotage » des combinaisons modales possibles et des modes d'exploitation se fait au niveau de la représentation du « nœud », élément stratégique du fonctionnement du réseau, et d'attributs affectés aux liens.

De ce point de vue on peut alors compter avec les progrès réalisés dans les SIG, avec des capacités d'information et de description considérablement accrues.

Les dispositifs de base de données se complètent par des bases de données sur les réseaux eux-mêmes et EUROSTAT s'adapte aux bases SIG décrivant les réseaux de transport. Au niveau national de telles bases sont encore rarement disponibles.

Le plan de ce chapitre se présentera alors en deux parties :

- Les modèles de partage modal et leurs améliorations
- L'affectation sur les réseaux intermodaux pour définir la contribution des modes.

---

<sup>15</sup> Cf. deux exposés de Bart Jourquin suite aux travaux des professeurs Beurthe et Jourquin.

## **1. Les modes de partage modal et leur amélioration**

Les modèles de partage modal ont été considérablement améliorés au cours des dernières années, mais ils peuvent difficilement faire face à tous les besoins d'introduction de nouveaux facteurs relatifs à la diversification des solutions d'acheminement et d'exploitation. Or entre deux solutions d'exploitation d'un mode donné il existe souvent plus de différences de performances qu'entre deux modes, ce qui peut conduire à des biais considérables dans l'optimisation d'une solution. Les différents modes d'exploitation ferroviaire (navette, trains de lotissement, transport combiné) en donnent le meilleur exemple et ont été jusqu'à présent très mal traités dans l'analyse du partage modal, donnant des résultats « uniformes » d'un mode à l'autre sans réalité.

Ainsi, dans un premier temps, l'amélioration a consisté à introduire les transports combinés comme un mode spécifique à côté de la route, du fer et de la voie d'eau.

Dans le cadre du modèle utilisé en RFA (BVU) la fonction d'utilité différencie le mode fer conventionnel du mode transport combiné. Des paramètres de qualité de service sont estimés à partir d'enquêtes de préférences déclarées. On a probablement dans cette présentation de BVU un des exemples les plus poussés de modèles de répartition modale.

Cette solution avait été adoptée dans le modèle EUFRANET ainsi que dans de modèle SCENARIO FRET de NESTEAR réalisé pour le compte de RFF : dans ces derniers cas une enquête spécifique au projet EUFRANET a été réalisée pour introduire des paramètres de qualité. Elle a été complétée par les observations du projet MYSTIC dans le modèle SCENARIO FRET.

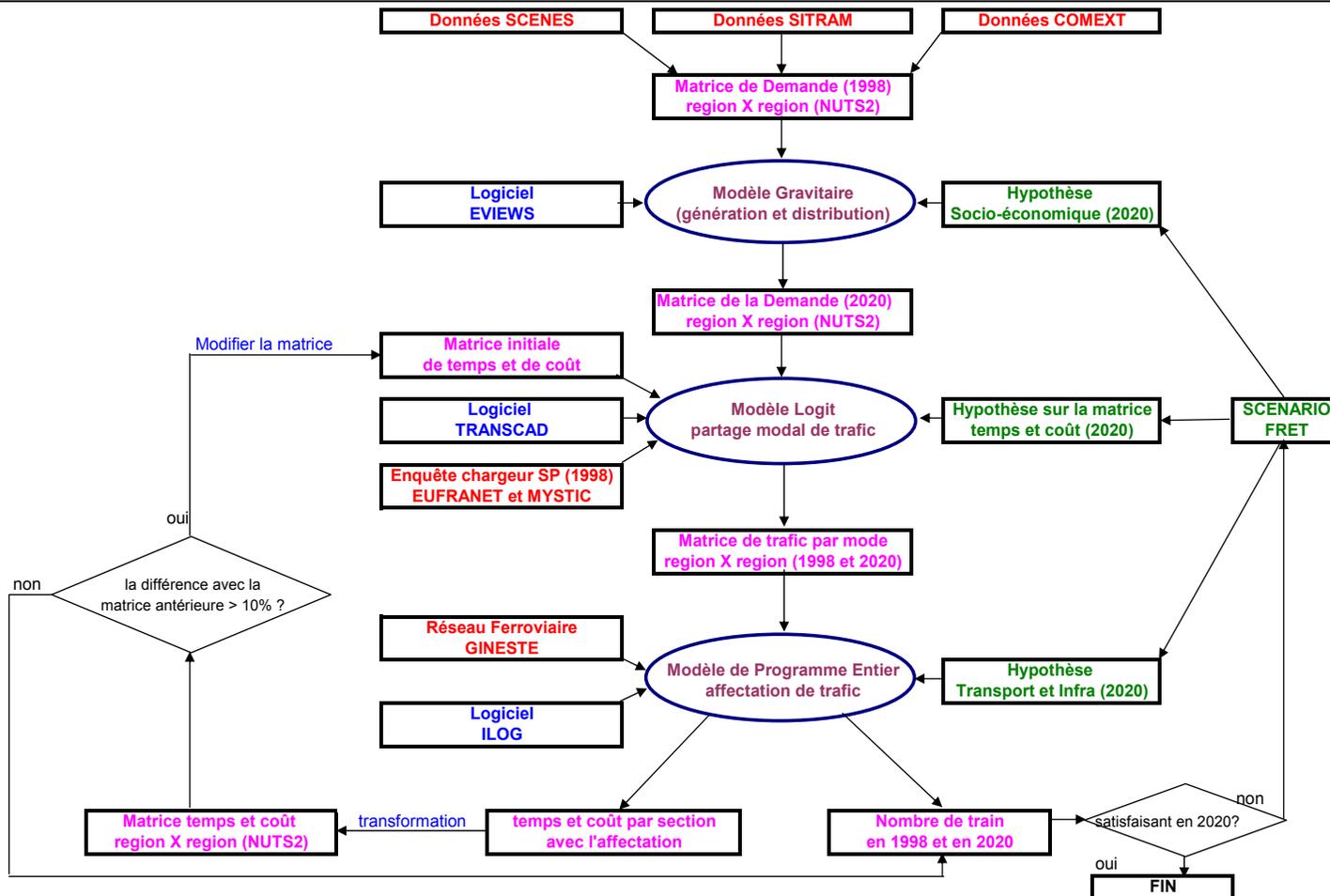
Dans ces exercices il faut alors souligner l'intérêt d'une transformation BOX – COX qui introduit plus de souplesse dans la formulation : il n'y a plus de contrainte d'élasticité fixe et les ajustements s'en trouvent améliorés. Des exemples précis sur le transport à travers les Pyrénées le démontrent<sup>16</sup>.

Dans les projets EUFRANET et SCENARIO FRET, une interaction entre le modèle de partage modal et le modèle d'affectation a été introduite : cette interaction permettait de mieux adapter les données de temps et de coûts de transport aux caractéristiques d'exploitation des transports entre deux régions et donc de mieux prendre en compte les conditions réelles d'exploitation (avec la distinction notamment, transport combiné, train de lotissement, train direct) : si le volume entre deux régions était suffisant un mode d'exploitation plus performant pouvait être mis en place, modifiant les conditions d'équilibre entre les modes et inversement. Dans une deuxième itérations de nouvelles conditions de concurrence étaient introduites dans le module de partage modal, et ainsi de suite, jusqu'à obtenir une convergence des résultats. Les mécanismes de modélisation devenaient ainsi plus complexe comme le montre le schéma de SCENARIO FRET.

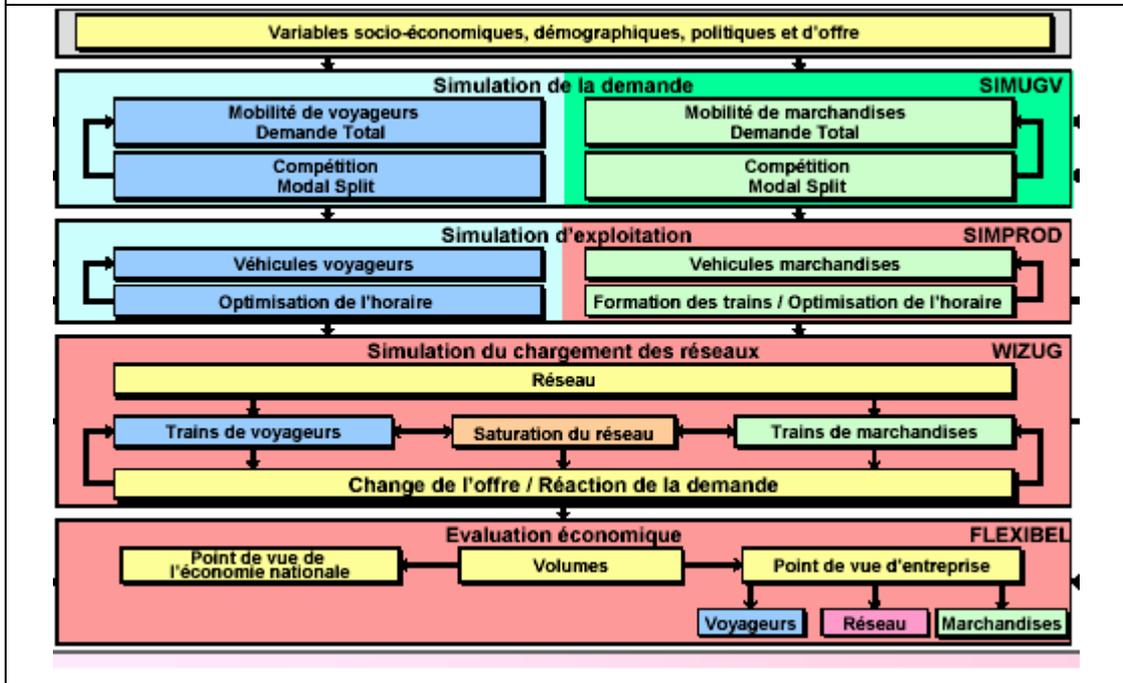
---

<sup>16</sup> Démonstration sans équivoque de Marc Gaudry dans le séminaire MODEM

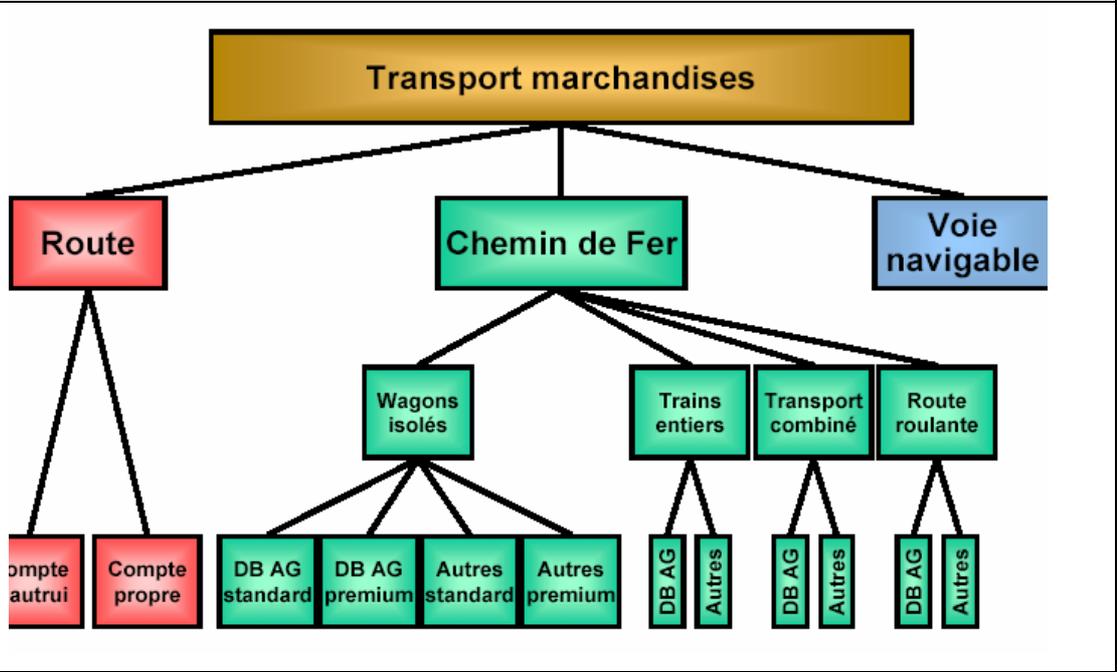
# SCENARIO FRET : Schéma d'ensemble (avec itération entre module de partage modal et d'affectation)



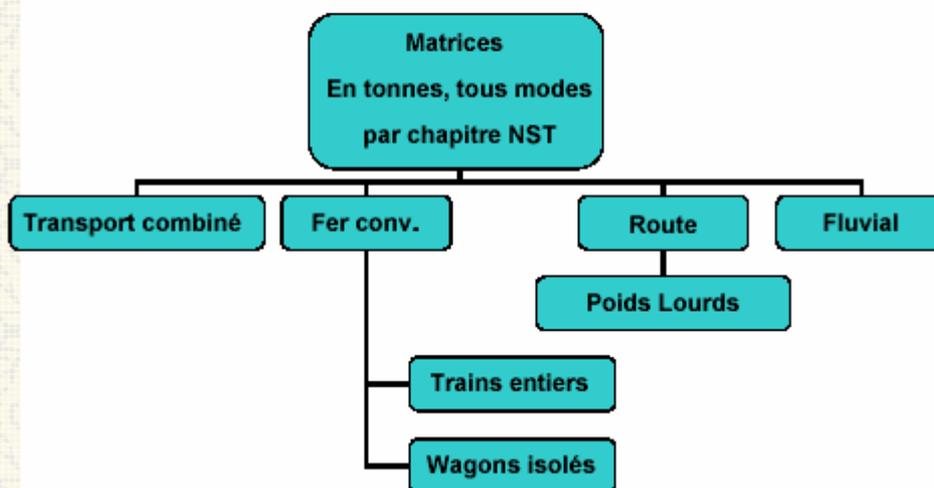
## Système de simulation (BVU-MOSES) : le modèle transport du plan national des transports allemands



**Structure hiérarchisé du modèle LOGIT : le modèle de partage modale du modèle BVU**



## Choix modal



- Fonction d'utilités par NST du type :

$$U = \alpha \text{ Temps} + \beta \text{ Prix}$$

Avec  $\alpha$  et  $\beta$  calculés pour chaque NST

- Les prix de chaque mode sont calculés par NST
- Prix et temps du fer conventionnel par NST :
  - Moyenne des prix et temps « TE » et « WI » pondérée par la part de WI/TE par NST et par OD agrégées
- Calcul de la part modal :

où :

$P$  et  $P'$  = part modal en situation actuelle et en situation projetée

$U$  et  $U'$  = utilité en situation actuelle et en situation projetée

$ij$  = O/D

$m$  = mode

$x$  = NST

- Les parts modales sont normées pour que la somme des parts modales soit égale à 1

## **2. L'affectation sur les réseaux intermodaux**

L'affectation sur les réseaux intermodaux suppose d'abord que l'on puisse traduire les flux interrégionaux en chaînes de transport point à point.

Pour cela deux solutions existent.

- Le choix pour chaque région d'un barycentre qui sera connecté aux différents réseaux.
- La distribution des flux interrégionaux sur des points d'entrée de réseau.

Dans le premier cas il n'y aura qu'un seul point par région et il n'y a pas de description du maillon terminal intra régional.

Dans le deuxième cas il y aura plusieurs points d'entrée qui seront les principales villes ou principales gares, voire tous autres nœuds du réseau : dans les affectations présentées sur les graphes de NESTEAR, il y a 3 à 4 points d'entrée par région. La description du parcours terminal est beaucoup plus précise même s'il ne s'agit pas « strictement » d'une description « porte à porte ».

Pour une affectation précise la deuxième solution est préférable, car l'expérience montre qu'entre deux mêmes régions, des solutions différentes peuvent être choisies, sachant qu'en contre partie, il y aura un beaucoup plus grand nombre de simulations<sup>17</sup>.

Une fois que l'ensemble des acheminements point à point a été défini deux méthodes ont été présentées :

---

<sup>17</sup> Environ 4 Millions de simulations à l'échelle de l'Europe, et 2 millions de simulations pour des itinéraires par la France.

- L'introduction d'un principe de réseau « virtuel » dans le modèle NODUS de l'Université de Mons : il y a autant de réseaux virtuels que de modes d'exploitation possibles, lesquels sont définis au niveau des nœuds. Chaque lien et nœud possèdent des attributs précisant les temps et les coûts de transport ou de transbordement, la solution choisie étant celle qui minimisera le temps, les coûts ou tout autres combinaisons prédéfinies des facteurs d'offre.
- L'affectation directe en fonction d'un critère de temps ou de coût minimal lesquels va dépendre, si besoin est, des volumes de transport entre deux points du réseau.

Pour la route les temps de conduite et de repos sont pris en compte.

Dans ce deuxième cas plusieurs applications ont été faites à l'échelle de l'Europe pour les transports ferroviaire et routier.

Des applications ont aussi été réalisées pour les autoroutes de la Mer et les autoroutes ferroviaires, ces marchés étant considérés comme des sous-ensembles du marché routier pour les chaînes de transport organisées par le transporteur routier.

La qualité de la base de données du réseau intermodal et de ses attributs, qui sont la distance mais aussi et surtout, les vitesses d'exploitation et les coûts d'exploitations est un facteur essentiel de l'intérêt de l'approche : de telles bases ne se constituent que progressivement à travers un grand nombre d'applications.

Les cartes qui suivent illustrent différentes applications et précisent les informations décrites dans la base de données réseau.

Pour le fonctionnement des nœuds de transport, de nouveaux développements seront bientôt réalisés pour décrire les opérations possibles et celles qui ne le sont pas, opérations qui pourrait être liées à des comportements d'acteurs. Il s'agit de modèles de réseaux « cellulaires » appliqués essentiellement au transport de voyageurs<sup>18</sup>

L'utilisation directe de tels modèles d'affectation sur un réseau intermodal pour déduire a posteriori la contribution des modes appelle alors le commentaire suivant : le « meilleur » chemin ou « chemin » minimal est défini par « tout ou rien ».

Il est alors vrai que la simulation d'un très grand nombre d'acheminements, pour toutes combinaisons modales possibles, là où les opérations de transfert modal sont possibles, introduit une certaine dispersion des situations.

Mais dans les applications actuelles, cette dispersion est le fait de différences de localisations d'origine et de destination et non pas de différences de comportements.

Les opérations de transfert modal s'effectueront alors de manière relativement « brutale » une fois que des seuils de rupture auront été franchis.

Cette propriété peut être un avantage, notamment s'il s'agit de cerner des valeurs critiques de basculement : cela peut être le cas lorsque l'on désire se fixer des objectifs stratégiques au niveau d'une entreprise ou pour tester une technique nouvelle (autoroute ferroviaire ; autoroute de la mer par exemple).

---

<sup>18</sup> Mais les perspectives peuvent être aussi très intéressantes pour la modélisation des nœuds de transport de marchandises.  
Cf. thèse de C. Decoupigny et travaux de Ph.

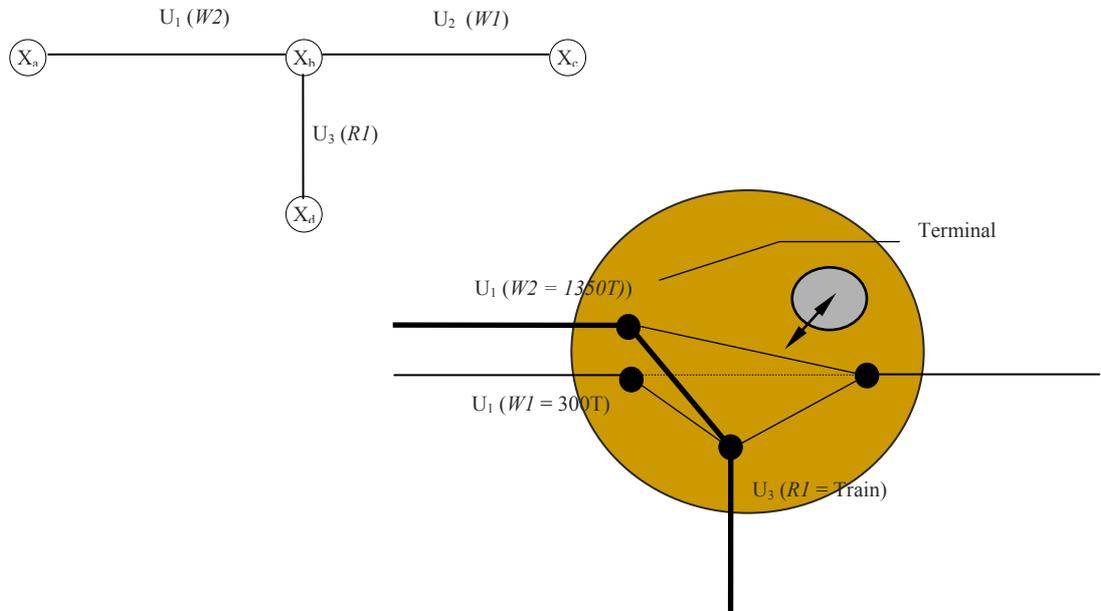
Dans un modèle stratégique l'identification de ces seuils de rupture est essentielle

L'utilisation de ces modèles pour définir des élasticités doit alors être conduite avec prudence, sous peine de produire des variations très fortes d'élasticités en fonction des valeurs des paramètres, autour des valeurs critiques de rupture.

Face à cette situation deux solutions sont possibles :

- soit travailler sur les intervalles suffisamment importants de valeur des paramètres étudiés et calculer des variations relatives sur ces intervalles (travail de « lissage »).
- soit développer en parallèle un modèle de partage modal qui renseignera sur des élasticités globales, le modèle d'affectation permettant, quant à lui, de mieux identifier les seuils de rupture.

# Réseaux virtuels



Approche Bart Jourquin – NODUS (FUCAM)

En conclusions de ces considérations sur les affectations sur réseau et la contribution des modes, les principales recommandations sont les suivantes :

- **Privilégier un modèle d'affectation qui introduise un concept de compétition entre chaînes intermodales de transport point à point.**

Dans ce dernier cas il y a en réalité une combinaison de résultats comme cela était déjà le cas lorsque des itérations ont été proposées entre un module de partage modal et un module d'affectation. Aujourd'hui il apparaît pertinent d'aller plus loin et de combiner différentes approches ou modèles chacun apportant un éclairage particulier. De telles démarches de recherche ont déjà été utilisées au niveau européen (projets SCENARIOS, SCENES, EXPEDITE) ou des ensembles de modèles ont été constitués et mis en interface pour mieux éclairer la prise de décision face à une panoplie de variables d'action de plus en plus large dans le domaine des marchandises.

Pour la modélisation du transport de marchandises en France il est aussi possible d'aller dans ce sens, tout en préconisant dorénavant de privilégier un modèle d'affectation sur réseau, par rapport à un modèle de partage modal.

La définition de ce modèle suppose qu'une attention particulière soit apportée à la description des réseaux de transport, non seulement en termes de géocodage et de distance mais aussi :

- En termes de temps de transport moyen sur les sections et sur les nœuds (y compris les nœuds intermodaux)
- En terme de coût de transport avec notamment l'introduction de fonctions de coûts : les formules de trinôme (coût à la journée pour

l'amortissement des matériels et charges fixes, à l'heure notamment pour les frais de personnels, au kilomètre pour le péage et l'énergie) réalisées pour le mode routier peuvent s'appliquer à tous les modes, mode ferroviaire par type d'exploitation, mode combiné, mode maritime).

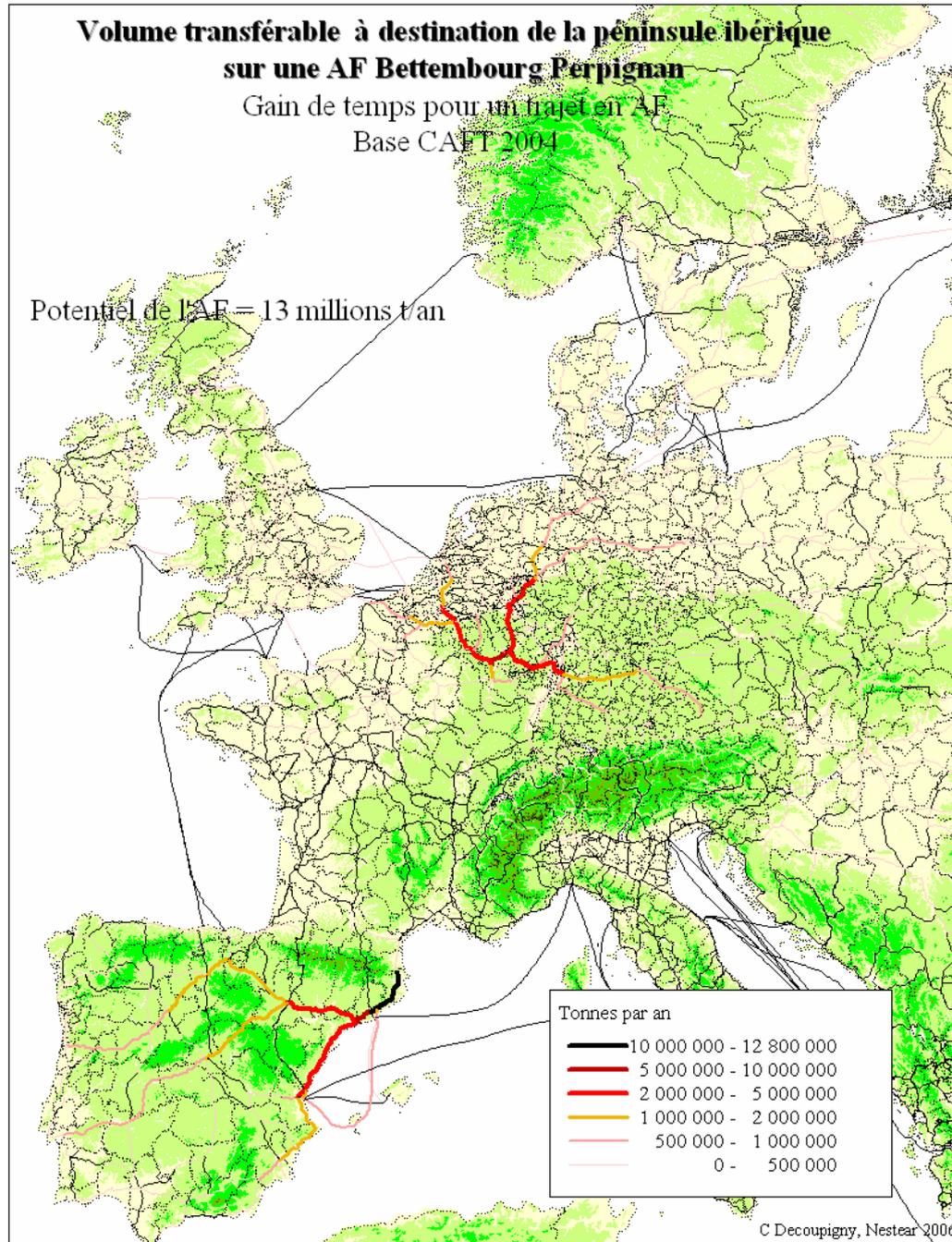
Dans le cas du transport routier l'introduction des cycles de temps de repos et de conduite dans l'acheminement « point à point » permet d'identifier des valeurs critiques de basculement entre les modes.

- **Déduire de la recherche de chemins minimaux la contribution des modes**
  - avec solutions intermodales
  - à la charge des réseaux

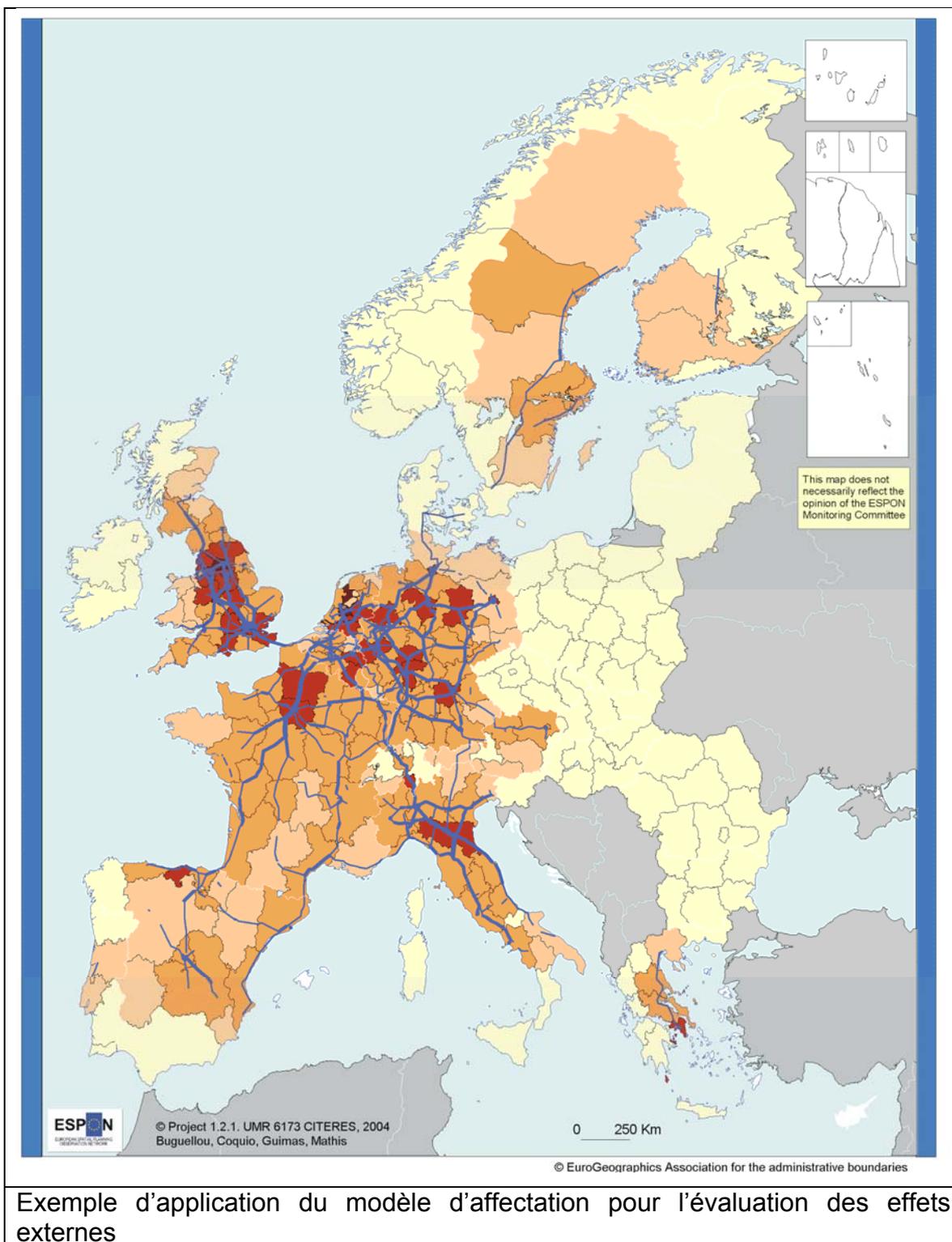
L'application de différents scénarios permettra d'estimer le développement de solutions intermodales, ainsi que l'importance du transfert modal.

Au niveau de l'évaluation socio-économique, la mémoire des itinéraires empruntés et de ceux qui sont transférés permet une mesure précise, localisée de l'impact environnemental, les émissions peuvent être calculées à partir de conditions d'exploitation et non plus à l'aide de taux moyens d'émission qui n'ont souvent que peu de réalité.

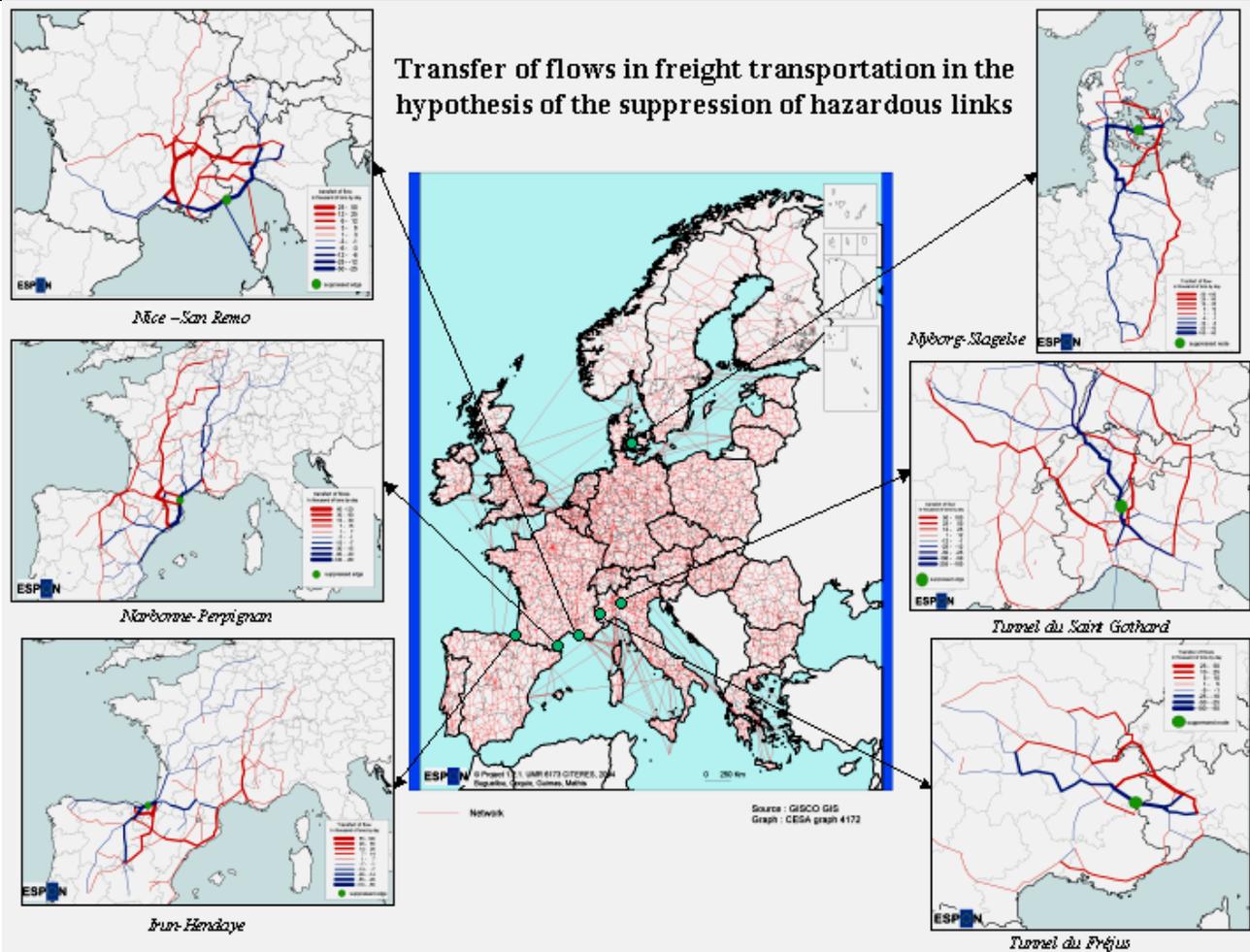
Application de l'approche chemin minimal (NESTEAR) à l'étude du potentiel – route – Autoroute Ferroviaire



## Transport externalities for transit - Nox emissions for trucks



## Un exemple d'application du modèle d'affectation au problème de la vulnérabilité des réseaux



**Tableau de synthèse : Evolution des outils**

<b>Problèmes</b>	<b>Voies d'exploration</b>
<u>Besoins</u> (non pertinence des 10 chapitres NST)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• flux européens, mondiaux</li> <li>• regroupement des produits</li> <li>• enquête qualité préférences déclarées, nouveaux indicateurs</li> </ul>
<u>Modes alternatifs</u> (difficulté de faire face à la diversité des solutions dans le modèle de partage modal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• améliorer les modèles de partage modal (élasticités non constantes)</li> <li>• mesurer directement les performances des chaînes point à point (NODUS, NESTEAR)</li> </ul> <p>→ fusionner partage modal et affectation (étapes 3 et 4)</p>
<u>Exploitation</u> (une nouvelle dimension de l'affectation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• identifier des points de rupture (interopérabilité, transfert) et de points de massification</li> <li>• introduire des modèles de coûts d'exploitation (route, fer, mer) dans les procédures d'affectation sur réseau.</li> </ul>
<u>Capacité</u> (introduire de nouveaux choix sur les priorités, insuffisance des modèles débit/vitesse – modèles de fluide)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• introduire les priorités</li> <li>• affectation ferroviaire sous contrainte de capacité</li> </ul>
<u>Impact environnemental</u> (les moyennes traduisent mal les enjeux, introduisant des biais dans les mesures globales)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• « géoréférencer » les points d'émission</li> <li>• introduire les cycles conduite/exploitation dans le calcul des émissions.</li> </ul>

# ANNEXES

A. 1 Pages web consacrés à MODEM

A. 2 Minutes des 4 séminaires

- le 22 Juin 2004
- le 26 Juin 2005
- Le 4 Novembre 2005
- Le 16 Juin 2006

## A. 1 Page web

# OBJECTIF

---

[objectif](#) | [comité de suivi](#) | [séminaires](#) | [actualité](#) | [liens](#)

L'objectif du projet MODE-M (**Modélisation Marchandises**) engagé par la DRAST est de produire un cahier des charges pour la définition d'un modèle que l'on pourrait appeler un modèle « global » marchandises appliqué à la France.

Par modèle « global » marchandises il faut alors entendre un modèle qui ne se limitera pas à l'estimation d'un certain nombre de relations de type macro économique associant des agrégats économiques (*PIB, Production industrielle, Import, Export...*) à des indicateurs généraux de transport (*tonnes-kilomètre ou tonnes par exemple*), indépendamment de l'intérêt et de la robustesse de telles relations, comme cela a pu être le cas pour définir un cadrage quantitatif du schéma de service : l'objectif est maintenant d'introduire dans le modèle des réseaux de transport décrits dans un espace sur lesquels les trafics seront affectés.

Mais, dans le même temps l'objectif n'est pas non plus de définir une méthode d'évaluation des projets, transposable en différentes parties du territoire national, voire des réseaux européens transfrontaliers, en redéfinissant à chaque opération le réseau de référence, le zonage d'émission et de réception, afin de mieux prendre en compte les spécifications locales et de donner une appréciation plus grossière des trafics éventuellement concernés à moyenne et longue distance : la croissance des trafics internationaux y compris le trafic de transit, la concentration des flux sur des corridors qui traversent l'Europe, l'harmonisation des méthodes d'évaluation conduisent, y compris pour l'évaluation des projets, à adopter des « supports » plus larges, des hypothèses de trafic plus homogènes, y compris pour l'évaluation de projets bien localisés, même si les études d'impact nécessiteront toujours des analyses locales.

En définitive le modèle global se situe dans une position intermédiaire, permettant d'une part des estimations pour l'évolution d'indicateurs globaux, nationaux, et fournissant d'autre part, un cadre pertinent pour l'évaluation des projets.

De telles démarches sont engagées aussi bien au niveau des pays pour la mise en place de schémas nationaux de transport qu'au niveau de l'Union Européenne pour l'évaluation des projets prioritaires européens.

Dans le cadre du IVe et Ve PCRD plusieurs projets se sont attachés à la revue des modèles existants tant au niveau national qu'international pour le transport de marchandises.

Parmi ces projets on peut citer le réseau thématique SPOTLIGHT, THINK UP, ainsi que les projets de recherche EXPEDITE voire même actuellement le projet ETIS Base pour l'élaboration d'un système d'information européen pour le transport. Suivant le cadre proposé par ces projets de nombreux modèles ont été aussi répertoriés en précisant le champ géographique, les variables d'entrées relatives aux données socio-économiques et aux données transport, les variables de sorties, l'horizon, les fondements méthodologiques, le mode de validation, le nombre d'applications.

De ces remarques générales plusieurs conséquences doivent être tirées quant à la démarche du projet MODE-M :

- Tout d'abord une conséquence pratique qui veut que, à la suite des travaux sur le modèle MODEV –V, réalisés par le SES, le modèle proposé pour les marchandises soit compatible, quant au zonage et à la définition du réseau, avec les options prises dans MODEV-V, afin de pouvoir « charger » le réseau national avec des flux de voyageurs et de marchandises.
- La nécessité d'insérer le réseau national dans un réseau européen suffisamment dense pour mieux cerner les flux internationaux y compris les flux de transit, qui prennent une importance relativement plus grande dans le cadre du modèle de marchandises.
- Nourrir la réflexion d'expériences nationales et internationales : dans ce dernier cas il s'agit essentiellement des expériences engagées par la Commission Européenne dans un contexte, en 2004, qui est celui de la révision des critères de sélection pour les projets prioritaires transeuropéens auxquels la Commission est susceptible d'apporter un co-financement.

Concernant la méthode, une approche traditionnelle est de décomposer la modélisation du transport de marchandises en 4 étapes : génération, distribution, partage modal et affectation. Si cette méthode constitue une référence, elle n'est plus toujours la plus pertinente et un effort particulier sera fait pour mettre l'accent sur des approches innovantes et leur intérêt pour répondre aux problèmes actuels de la modélisation en transport de marchandises.

Ceci étant l'objectif est aussi de fournir des exemples concrets et opérationnels de modèles, en précisant les difficultés rencontrées pour leur application ainsi que leurs caractéristiques très concrètes comme la décomposition des produits adoptés, le choix des variables, la « finesse » du réseau, la qualité des ajustements.. Afin de s'assurer que le cahier des charges final puisse donner lieu, dans un délai raisonnable, à l'application d'un modèle à un territoire français inscrit dans un espace européen.

Enfin la méthode proposée pour la définition de ce cahier des charges est celle de la tenue d'une succession de 4 séminaires où sont présentés des modèles nationaux et européens devant une audience d'une trentaine de spécialistes, pour la plupart des utilisateurs de modèles du Ministère et de différents organismes publics français : ces séminaires sont préparés autour de différentes problématiques à débattre dont seront tirées des conclusions quant aux choix de modélisation à réaliser.

Pour ce faire NESTEAR qui coordonne le projet MODE-M s'est associée des experts et en particulier Marc Gaudry et Werner Rothengatter qui interviendront tout au long du processus.

Les présentations de séminaires, les notes de synthèse et les documents de référence seront repris sur le site web de NESTEAR, afin de faciliter l'accès aux documents et de stimuler des échanges plus approfondis entre les membres du groupe et les experts du séminaire.

## A.2 Compte rendu des séminaires

### Compte rendu du séminaire du 22 Juin 2004

Séminaire du 22 juin 2004				
<u>Liste des participants :</u>		<u>Compte rendu, intervenants et interventions :</u>		
Marc GAUDRY (Université de Montréal et INRETS)		Compte rendu du séminaire		
Jérôme BAC (INRETS)				
Michel BAUDRIN (CETE Nord Picardie)		Bart JOURQUIN (FUCAM – GTM MONS)		
Pierre Yves BIET (VNF)				
François BOYER (DTMPL)		Philippe TARDIEU (NEA)		
Nicolas BRUTIN (VNF)				
Jean N. CHAPULUT (CGPC)		Christian REYNAUD (NESTEAR)		
Gilles CHASSING (VNF)		Martine POINCELET (NESTEAR)	Andrea PAPOLA & Vittorio MARZANO (Universita Degli Studi di Napoli Federico II)	
Jean-Louis DENIZOT (SNCF)		Vesselin SIAROV (NESTEAR)	Christian CALZADA (DAEI – SES)	
Daniel FEDOU (CGPG)				
Karine MEYER (SYSTRA)				
Jean-Marc MOULINIER (METL)				
Christophe RIZET (INRETS)			Thomas SELZ (BVU)	
Patrice SALINI (INRETS)				
Pierre SEMBAT (SES)				

Les présentations aux séminaires constituent la substance du projet MODEM dans la mesure où elles ont été organisées par rapport à la démarche suivie. Les débats qui ont suivi ces présentations fournissent des premiers enseignements pour le choix d'un modèle : les comptes rendus fournissent matière à des échanges qui peuvent se prolonger après chaque séminaire, soit au cours du séminaire suivant, soit par écrit avec des remarques individuelles sur les enseignements de ces débats qui seront intégrés dans les comptes rendus des séminaires.

Les perspectives pour les prochaines étapes ne doivent être considérées dans un premier temps que comme des propositions sachant que l'organisation des séminaires requiert toujours des délais de préparation relativement longs.

Le premier compte rendu comprend trois parties :

1. Note introductive sur l'organisation des présentations du 22 Juin
2. Premiers enseignements
3. Perspectives pour le prochain séminaire

Le premier séminaire MODEM a mis l'accent sur différentes expériences internationales afin d'illustrer, de manière concrète, les conséquences de choix méthodologiques.

Une première question importante au niveau de la génération/distribution est celle des mécanismes d'interaction spatiale et de leur traduction dans les modèles.

Après une introduction générale de Christian Calzada, le premier volet du séminaire s'est concentré sur la génération et la distribution spatiale avec la présentation d'un modèle européen et d'un modèle national :

- le modèle de NEA utilisé dans le projet TEN STAC qui a accompagné les travaux du Groupe Van Miert et a été utilisé par la Commission pour l'évaluation des projets prioritaires européens
- le modèle italien développé par le Comité National de la Recherche Italien et qui a la réputation d'être un outil particulièrement intéressant concernant la modélisation d'interaction spatiale entre régions italiennes.

La discussion sur les mécanismes d'interaction spatiale a également fait référence au modèle MEPLAN appliqué aux réseaux européens par Martial Echenique (Cambridge) dans les projets de recherche européens SCENES et THINK UP : cette approche pourra donner lieu, lors d'un séminaire ultérieur, à des développements plus approfondis si cela s'avère utile

notamment lorsque seront présentés des modèles utilisés en Angleterre sachant que ce pays développe, depuis quelques années, de nouveaux outils de projection nationale sous l'impulsion du Ministère des Transports.

Le deuxième volet de ce séminaire s'est concentré sur la répartition modale et l'affectation sur réseau.

Pour ce faire le premier modèle présenté est celui qui a été utilisé en RFA pour les projections de trafics à moyen et long terme en vue de définir les priorités à établir entre les projets d'infrastructure.

L'autre modèle présenté, NODUS, met l'accent sur l'exploitation des réseaux ; il a aussi donné lieu à des applications dans les réseaux européens et ceci, notamment, pour l'analyse des trafics de la voie d'eau et du fer.

Il faut alors souligner que le développement récent des modèles de trafic en Europe a conduit à relativiser la distinction traditionnelle qui est faite entre les 4 étapes de la modélisation : génération, distribution, partage modal, affectation.

En réalité génération et distribution se retrouvent intimement liés et la répartition modale ne peut plus se distinguer de l'affectation sur les réseaux. Parfois même il faut aussi prendre en compte des interactions qui existent entre ces deux grands ensembles d'opérations ; à la suite du projet EUFRANET, NESTEAR s'est engagée dans cette voie dans le projet SCENARIO FRET réalisé pour RFF, modèle qui pourra être aussi présenté ultérieurement.

En conclusion de la réunion C. Reynaud et Marc Gaudry sont revenus sur des commentaires généraux concernant les choix méthodologiques ainsi que leurs conséquences pour des choix de modèle opérationnels afin de faire émerger progressivement, tout au long des séminaires, les grandes lignes d'un cahier des charges, pour la définition d'un modèle français.

## **1. Premiers enseignements**

- La première intervention s'attachait au problème général de la prise en compte des phénomènes d'interaction spatiale dans la modélisation du transport de marchandises (MIS Modélisation de l'Interaction Spatiale).

Cette introduction a été faite par Christian Calzada qui s'est attaché à ce problème, en France, bénéficiant d'une information relativement riche sur la connaissance des flux de transport par rapport à l'information généralement disponible dans les pays voisins.

Ceci étant le contexte était aussi celui d'un abandon par l'INSEE d'une comptabilité régionale puis celui de la perte d'une information statistique douanière à partir de 92 avec la mise en place du Marché Unique Européen.

Dans son exposé Christian Calzada ramène directement la question à celle de la connaissance des flux d'échanges, exprimés en valeur ou en tonnage : de telles matrices origine-destination région/région font défaut à l'échelle de l'Europe.

Ce faisant il s'attache non seulement à la structure spatiale de ces flux par origine-destination et par produit (effets géographiques et structurels) mais aussi à leur évolution sur longue période de 75 à 95, suite à un très gros travail de collecte de données.

Une première étape est la segmentation par produit et la définition de clés de passage de la nomenclature NAP à NST ; cinq groupes de produits assez généraux sont retenus : agriculture, énergie, biens intermédiaires, biens d'équipement, biens de consommation.

Dans cet ensemble les biens intermédiaires représentent la part majoritaire des flux en tonnage.

Dans la présentation faite l'accent est mis sur une description très complète des formulations mathématiques et de leur propriétés ; mais manifestement les données disponibles ne permettent pas toujours d'obtenir des segments de marché suffisamment homogènes et des flux suffisamment précis pour calibrer le modèle.

La référence à une analyse structurelle des flux sur longue période pose la question des ruptures qui sont intervenues durant la période.

Les segments de marché par groupe de produits relèvent souvent de logiques spécifiques de « filière » ou de « site » qui ne peuvent être appréhendées avec des indicateurs homogènes.

D'où souvent une difficulté pour conclure dans l'application de tels modèles comme cela a été le cas pour le modèle FIRM ( ?).

Le retour d'expérience après la réalisation de plusieurs applications, y compris des applications importantes pour apprécier les effets frontières, conduit aux interrogations suivantes :

- la difficulté d'appréhender en même temps la déformation structurelle dans le temps et dans l'espace

- la difficulté d'établir un lien entre activité économique et flux de transport du fait de l'absence de données disponibles au niveau régional et des différences de nomenclature entre l'activité économique et l'activité de transport
  - le regroupement pertinent par type de produit (segments de marché) compte tenu de l'importance des produits intermédiaires qui relèvent d'analyses spécifiques
  - l'intérêt d'une approche européenne homogène, avec notamment, un zonage comparable pour tous les pays face aux difficultés rencontrées dans des approches nationales qui détaillent l'espace national et intègrent de manière très approximative l'espace européen.
- La deuxième intervention était la présentation d'un modèle italien d'interaction spatiale MRIO faite par MM Papola et Marzano

Ce travail s'est inscrit dans une démarche du Conseil Nationale de la Recherche italien (CNR) qui a mobilisé un volume important de moyens, durant plusieurs années, avec des applications pour le PGT Plan Général des Transports italien.

Afin d'établir des flux par origine et destination un effort particulier d'enquête a été réalisé.

L'objectif a été d'établir des matrices input/output régionales en partant de la nomenclature économique. L'équilibre général des flux est assuré en complétant les estimations de flux région – région par une évaluation des flux intra régionaux et internationaux.

Dans la mécanique d'échange modélisée, les coûts de transport par produit viennent s'ajouter aux coûts d'acquisition du produit sur le marché d'une région déterminée.

Dans un premier stade les flux et les coefficients techniques des matrices sont exprimés à partir de quantités en valeur entre 20 régions : puis s'effectuent des transformations valeur/tonnage et une estimation des flux région – région.

Ce modèle économique d'interaction spatiale qui fait encore l'objet de développements se couple avec un modèle « transport » qui fait intervenir le transport combiné, le type de chargeur (grande entreprise ou PME), et certains éléments relatifs à l'envoi.

Dans l'application du modèle une distinction est faite entre des applications de court et de long terme : un effet de long terme suppose un retour aux coefficients techniques précédents qui font intervenir les coûts de transport et

les coûts d'acquisition alors que cela n'est pas le cas pour les effets de court terme, dont l'impact reste mesuré au niveau du modèle de transport.

L'intérêt de cette démarche globale est incontestable et repose sur une construction très séduisante. Les questions se sont concentrées sur les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir, sur la continuité nécessaire des efforts de recherche pour de telles constructions, et la représentativité des échantillons à partir desquels le modèle est calibré et ceci en particulier pour l'estimation des flux région – région.

- La troisième intervention a mis à nouveau l'accent sur l'estimation des flux région à région. Dans cette intervention Philippe Tardieu de NEA a souligné l'importance d'un certain pragmatisme dans l'approche des modèles de transport et la nécessité d'un travail continu sur longue période pour constituer des bases de données.

Les bases de données sont mises à jour régulièrement par NEA et la question centrale est celle de la construction d'un système d'information sur les flux de transport tirant le meilleur parti des données existantes.

Dans cette appréhension il faut veiller à éliminer les doubles comptes provenant du fait qu'un produit peut être enregistré plusieurs fois au sein d'une même chaîne de transport, qui le conduit de l'origine à la destination finale : cela est notamment le cas pour les transports avec rupture de charge, dans les ports ou les plates formes terrestres.

A partir de ce principe le modèle choisi, ou plutôt « les » modèles choisis pour estimer les flux sont des modèles de type gravitaire associant directement des variables économiques (variables économiques régionales, par grand secteur) à des flux de transport entre régions exprimés en tonnes. Suivant les types de relation ou les types de pays concernés il y a plusieurs formulations de modèle entre lesquelles l'expert choisit. L'expérience montre que le passage de valeur en tonnage est possible et qu'il n'y a pas d'avantage à passer par une estimation intermédiaire des flux en valeur des produits transportés : ceci permet en outre d'éviter l'utilisation de coefficients de « valeur à la tonne ».

Pour la distribution spatiale la distance est privilégiée comme facteur d'impédance ; toutes les approches qui ont intégré de manière plus précise des temps et des coûts de transport sur le réseau, n'ont jamais produit d'améliorations significatives dans l'estimation des flux.

Le modèle de NEA a été appliqué dans différents contextes, avec différentes années de référence : le calibrage en plusieurs « vagues » permet de tester la stabilité des paramètres.

L'analyse se fait par type de produit en référence aux chapitres de la NST, tout en connaissant ses imperfections mais sachant aussi que cette nomenclature sera reprise en 2005 avec 20 chapitres qui reflèteront mieux la nature des produits transportés et faciliteront des relations avec des indicateurs d'activité économique.

Ainsi progresse la connaissance des flux origine-destination de manière pragmatique, en limitant le travail d'estimation autant que possible aux seules données d'échange encore méconnues, pour lesquelles il n'y a pas véritablement d'observations statistiques valables.

Dans un tel modèle d'échange il faut souligner alors l'importance de variables « muettes » qui traduisent la spécification économique de certains pays (par produit) ou bien reflètent des niveaux d'intégration économique (par pays).

A partir des matrices de flux qui servent de référence, et qui sont mises à jour tous les deux ans, des modèles de transport peuvent être construits : il y a aujourd'hui 8 types de modèle qui ont permis d'étendre l'analyse à l'ensemble des échanges internationaux y compris l'Europe Centrale et les échanges intercontinentaux.

Concernant la répartition modale une segmentation de base est

- la nature du produit
- la distance de transport
- le volume du transport.

A partir de cette segmentation de base des références de coût relatif sont établies sur la base d'analyses de chaînes détaillées pour les différents modes (modèle de prix relatifs fournissant des élasticités de report entre les modes) réalisées il y a plusieurs années.

- Le modèle NODUS ou la « visualisation sur le réseau des chaînes de transport

Dans son intervention sur le modèle NODUS, Bart Jourquin résume sa démarche comme étant une démarche de « visualisation sur le réseau d'une chaîne de transport »

Si l'on se réfère au schéma d'une modélisation en 4 étapes, NODUS traite de front l'affectation sur le réseau et le partage modal, en incluant dans la notion de partage modal tout un ensemble possible de croisements de modes de transport et de types d'exploitation de véhicule. La méthode consiste dans un premier temps à décomposer les opérations de la chaîne de transport, entre le chargement initial et le déchargement final, multipliant

ainsi le nombre de combinaisons possibles : pour un réseau possédant initialement près de 10 000 nœuds et 12 000 arcs, physiquement identifiés sur une carte, cette combinaison des chemins possibles conduit à la création d'un réseau « virtuel » d'environ 300 000 arcs.

Pour prendre un exemple concret de l'illustration de cette démarche la différenciation entre l'acheminement par différent types de bateaux conduit à définir sur un arc « physique » donné, autant d'arcs « virtuels » qu'il y a de type de bateau introduisant, pour chaque nœud, la possibilité ou non de transférer les produits sur un autre « vecteur », quel que soit le mode.

Une fois ce mode de construction admis le développement de fonctions de coûts pour l'exploitation le long des arcs, ou le passage à travers les nœuds est essentiel. Le temps peut intervenir également et des recherches se développent sur l'introduction d'aspects qualitatifs permettant en particulier d'expliquer les résidus des ajustements statistiques.

Le modèle qui est en développement depuis 1990 a connu plusieurs versions et la version 5 actuelle permet l'intégration du réseau de référence dans un SIG (données géocodées).

Le modèle a été appliqué dans plusieurs études : étude de transit à travers la Suisse, étude de localisation des hubs ferroviaires, étude de cabotage européen et enfin pour le Schéma Wallon des transports. Le modèle NODUS peut se coupler avec une approche par scénario. Les applications ont donné des résultats satisfaisants pointant dans un premier temps la nécessité de prendre en compte le parcours à vide des camions.

En conclusion il apparaît qu'une méthode qui se contente de décomposer les opérations donne de bons résultats, une fois que la contrainte du volume d'informations traitées a été levée avec les nouveaux moyens informatiques.

Des schémas plus compliqués peuvent toutefois être envisagés avec notamment la prise en compte du problème de capacité des infrastructures voire des aspects liés au comportement des usagers qui font que le choix ne se fait pas par « tout ou rien ».

Toutefois lorsque le champ des combinaisons possibles est suffisamment vaste, lorsque le nombre des origines et des destinations est suffisamment élevé, alors le « choix du tout ou rien » donne des résultats assez fiables et il faut s'interroger sur le gain attendu d'une complexification des mécanismes de prise de décision.

Concernant la congestion il faut souligner que, dans un réseau détaillé les points de congestion sont relativement bien délimités et, somme toute, peu nombreux au regard du nombre d'éléments du réseau considéré.

L'identification de ces points est sans doute plus importante que l'introduction dans le réseau de techniques sophistiquées liant le débit et la vitesse.

Ceci étant la description physique du réseau peut et doit être améliorée en permanence avec la prise en compte d'un plus grand nombre de spécificités notamment pour l'acheminement ferroviaire où les rampes ou d'autres caractéristiques physiques ont un impact sur les performances d'exploitation.

- Le modèle de projection du Plan National des Transports allemand

La dernière intervention, qui était celle de Thomas Selz de BVU, consistait à décrire la méthode utilisée en RFA pour le Plan National de transport.

La matrice de base pour les flux est constituée à partir de données disponibles en RFA, avec un découpage fin en RFA et regroupement de régions dans les pays voisins : il y a une enquête type TRM en RFA et la DB communique pour l'exercice les documents de transport.

Le modèle de répartition modale est un modèle « hiérarchisé » à plusieurs niveaux qui permet de distinguer au niveau le plus fin :

- le transport routier pour compte propre et compte d'autrui,
- l'exploitation ferroviaire par train direct et wagon isolé,
- l'exploitation ferroviaire de la DB et celle des nouveaux entrants,
- le transport combiné et la route roulante, (et ceci, à nouveau pour la DB et les nouveaux entrants)
- l'exploitation par voie d'eau.

Les mécanismes d'ajustement incluent des itérations entre les conditions d'offre et le volume de la demande ce qui conduit à mieux apprécier la stabilité des résultats.

Des questions ont alors été posées sur l'arborescence retenue pour le choix modal sans qu'il soit possible de conclure véritablement sur le choix d'une hiérarchisation différente, bien que rien ne s'oppose à toute modification justifiée de cette arborescence.

Dans la démarche suivie l'accent a été mis sur la formulation mathématique des modèles ainsi que sur l'effort réalisé au niveau de la collecte des données : données sur les flux mentionnées précédemment ainsi que la collecte d'informations sur le comportement des chargeurs avec une enquête auprès de 1 000 chargeurs pour la simulation de 20 000 décisions concrètes de choix modal.

A noter également une adaptation de l'outil aux problèmes actuels que sont l'arrivée des nouveaux entrants dans le monde ferroviaire avec des coûts d'exploitation spécifiques par rapport à ceux de la DB ainsi que l'hypothèse d'une hiérarchisation des priorités ferroviaires : une priorité donnée au transport de voyageurs, et parmi les trains de marchandises, une priorité aux trains les plus rentables, sachant que d'autres règles pourraient être appliquées.

## Compte rendu du séminaire du 26 Septembre 2005

Séminaire du 26 septembre 2005			
<u>Liste des participants :</u>		<u>Compte rendu, intervenants et interventions :</u>	
Alain SAUVANT (RFF)		<b>Compte rendu du séminaire</b>	
Michel BAUDRIN (CETE Nord Picardie)	Christian REYNAUD (NESTEAR)	J.D. BLARDONE (SESP)	
Jean-Louis DENIZOT (SNCF)	Martine POINCELET (NESTEAR)	Bart JOURQUIN (FUCAM – GTM MONS)	
Carine EMERY (INRETS)	Vesselin SIAROV (NESTEAR)	Philippe MATHIS (Université de Tours)	
Nicolas LEBELLE (INRETS)	Christophe DECOUIGNY (NESTEAR)		
Jean-Marc MOULINIER (Ministère de l'Equiment)	Valérie GACOGNE (NESTEAR)	Marc GAUDRY (Université de Montréal et INRETS)	
Christophe RIZET (INRETS)	Bruno BEAUCHET (NESTEAR)		
Marie-Astrid VERON (VNF)	Zheng CHEN (NESTEAR)		

Ce compte rendu a été revu par les intervenants qui parfois ont souhaité y ajouter des commentaires voire de courts développements pour préciser le cheminement de leur argumentation.

Le deuxième séminaire sur le développement de la modélisation du transport de marchandises en France a débuté par une courte introduction de Christian Reynaud coordinateur du projet.

Dans cette introduction il a été rapidement expliqué pourquoi autant de temps s'était écoulé entre le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>e</sup> séminaires.

Une première raison a été la nécessité d'attendre un premier paiement avant de poursuivre ; en effet ce type d'opération suppose toujours un certain montant d'avances et de débours auxquels il est difficile de faire face, compte tenu des problèmes inhérents de trésorerie de toute PME impliquée dans des programmes de recherche.

La deuxième raison a été, une fois le paiement effectué au printemps 2005, de reprendre contact et d'arrêter une nouvelle date avant l'été : cela n'a pas été possible compte tenu des engagements des différentes personnes contactées à une période particulièrement chargée.

C'est pourquoi la 2<sup>e</sup> session n'a été programmée qu'au mois de septembre en préparant dans le même temps les deux prochains séminaires (début novembre et décembre) afin d'achever les travaux en 2005.

Enfin il est rappelé que le site web du projet a été mis à jour et qu'il constitue un outil important de la « plate-forme » d'échanges sur la modélisation : outre les communications et les comptes rendus des séminaires les participants sont invités à transmettre tous travaux relatifs au sujet de la modélisation du transport de marchandises présentant un intérêt pour les participants, afin qu'ils puissent être répertoriés et éventuellement discutés avec le recours au net.

L'animation du séminaire sera effectuée comme précédemment, conjointement par Marc Gaudry et Christian Reynaud.

L'agenda du 2<sup>e</sup> séminaire se compose de 4 interventions qui s'articulent comme suit :

- Intervention de J.D. Blardone
- Intervention de Bart Jourquin
- Intervention de Philippe Mathis
- Intervention de Marc Gaudry.

Dans les 3 premières interventions il y a une progression, passant de la présentation d'un « modèle de réseau » en 4 étapes zone à zone (« MODEV-M » du SESP), à une modélisation de chaîne de transport point à point dans l'espace européen (nouveaux développements de NODUS), puis à une présentation mettant au premier plan les outils SIG (travaux ESPON) ; la dernière intervention donnant un cadre pour mieux identifier les points de force et de faiblesse des différentes méthodes (M. Gaudry).

Les supports des interventions sont reproduits en annexe, ce qui fait que le compte rendu se concentrera plutôt sur les commentaires, les questions et recommandations qui peuvent en découler.

La première intervention concerne donc la mise au point par le SESP d'un type de modèle en 4 étapes.

Pour JD Blardone cette intervention était à la fois une première présentation aux participants du séminaire du modèle du SESP (modèle dont la publication est attendue avant la fin de l'année) et une opportunité de

discuter un certain nombre de questions importantes qui restent en suspens formulées de manière explicite à la fin de l'exposé.

En réalité trois types de démarches de modélisation de marchandises ont été conduites par le SESP dans la période récente :

- modélisation France entière pour les marchandises et les voyageurs : le modèle dit MODEV (le modèle voyageurs étant déjà opérationnel)
- modélisation du trafic transalpin
- modélisation du trafic transpyrénéen.

MODEV suit une démarche classique en 4 étapes et s'applique à l'ensemble des réseaux européens (cf. plus loin). Il comprend 427 zones détaillées, en France au niveau de 342 zones d'emplois, plus agrégées à l'étranger et ceci d'autant plus que l'on s'éloigne de la France (l'Europe en 85 zones de niveau NUTS II près des frontières françaises).

Un zonage plus agrégée existe dans le modèle en 180 zones avec, en France, les départements. Seuls les déplacements de plus de 100 km sont considérés.

Le réseau a été plus détaillé pour les passages entre la France et l'Italie, la France et l'Espagne suite aux travaux réalisés pour le passage des Pyrénées et des Alpes.

Tout un ensemble de logiciels sous CUBE sont utilisés et notamment TRIPS et SCENARIOS MANAGER, de manière à ce que la programmation reste lisible et que la création de nouveaux scénarios n'altère pas les composantes des autres scénarios.

La présentation de JD Blardone ne s'attache pas au problème de génération des matrices de flux de prix et de coût qui demanderait un exposé spécifique mais s'attache plutôt à celui du modèle de marchandises lui-même

- qui décompose les échanges en 10 types de produits (10 chapitres de la NST)
- considère 4 (+1) modes : route, rail conventionnel, transport combiné, fluvial (uniquement grand gabarit) ainsi que le mode maritime (lignes régulières) permettant d'intégrer les flux maritimes dans l'analyse mais sans qu'il y ait de choix du port.

Les 4 étapes du modèle sont alors détaillées.

## **1. La génération de trafic**

Elle est obtenue à partir des données socio économiques d'emploi au niveau département (les trois premières étapes s'effectuent au niveau département avec éclatement par zones d'emploi dans la 4<sup>e</sup> étape) ; le modèle peut bien entendu fonctionner à partir de matrices de flux exogènes.

Pour ce faire il a donc fallu établir une correspondance entre la NST 10 pour les trafics et le NES 36 pour les emplois ; pour la réception, la population est aussi prise en compte.

Un point important est alors le calcul des exportations et importations par zone : il est effectué en appliquant des taux d'évolution par produit (données exogènes), à une situation de référence. Le trafic de transit n'est pas traité au stade de la génération mais à celui de la distribution.

Pour les projections, des taux de productivité sont appliqués aux données d'emploi par secteur et les trafics projetés sont déterminés par la méthode dite du « pivot multiplicatif » : des taux de croissance calculés sont appliqués aux flux observés, pour une année de base 2002.

## **2. La distribution**

Pour les flux internes, ceux d'exportation et d'importation, il y a application d'un modèle gravitaire avec une fonction de résistance exponentielle utilisant comme variable la distance routière (par NST et type de flux). Pour le transit des taux de croissance sont appliqués aux flux de référence : ils sont basés sur la croissance du PIB des pays de destination et l'élasticité des attractions de ces pays au PIB.

## **3. Le choix modal**

Il y a définition d'une fonction d'utilité en fonction des prix et des temps pour chaque NST. Pour le fer conventionnel une moyenne pondérée des prix et des temps des trains entiers et wagons isolés est calculée par NST (et O/D agrégée ; cf. exposé).

## **4. Affectation**

Après désagrégation des matrices modales par NST au niveau des 427 zones il y a

- Pour le fer

Pour le fer il y a distinction entre trains combinés (400 t), trains entiers (tonnage moyen par train et par NST et taux d'utilisation des trains entiers par NST + trains à vide), wagons isolés (taux d'utilisation des wagons isolés

par NST, 32 wagons par trains et tonnage moyen des wagons par NST – modèle de wagon vide – cf. détails).

L'affectation des trains sur le réseau se fait en fonction du chemin le plus court compte tenu :

- du « préchargement » du réseau avec les trains de voyageurs considérés comme prioritaires
  - l'affectation des trains par tranche de 20 % en se référant à une courbe débit vitesse des trains par type de voie (avec un ordre TC, TE, WI).
- Pour la route

Il y a d'abord un passage de tonnes en PL (après passage de 10 NST à 4 segments de produit) et mise au point d'un module de recherche de fret de retour. L'affectation se fait aussi par tranches, selon des valeurs de temps croissantes, avec comme critère le plus court chemin en coût généralisé.

- Pour le fluvial

Il y a distinction entre des passages possibles par des ports généralistes et des ports spécialisés suivant les types de produit (10 NST), la voie d'eau étant alors considérée comme un mode principal.

Dès la fin de la présentation JD Blardone présente les principales interrogations du SESP, soumises à débat.

Elles concernent d'abord la modélisation et l'intérêt d'une modélisation point à point et non pas zone à zone, ainsi que le problème du traitement des trains entiers par rapport à celui des wagons isolés.

Elles concernent aussi l'introduction du mode maritime qui n'est pas intégré de fait dans le modèle en 4 étapes, qu'il s'agisse des lignes européennes ou internationales.

D'autres interrogations plus spécifiques sont détaillées pour les différentes étapes de la modélisation.

Avant de répondre plus directement à ces interrogations le premier échange avec les participants concernait des précisions sur la modélisation elle-même et certains choix effectués notamment au niveau de l'affectation par tranche

- Question sur la reproductivité des résultats de Marc Gaudry

- Question sur le caractère approximatif d'une courbe débit-vitesse pour le ferroviaire d'Alain Sauvart, s'agissant de phénomènes que l'on connaît assez mal
- Problème de la pertinence d'une telle affectation lorsque l'on utilise des données annuelles de circulation alors que les phénomènes de congestion doivent être traités à un niveau plus fin, par type d'heures notamment.

Il est clair que, hormis quelques segments de réseau, la congestion est avant tout un problème de circulation d'automobiles particulières, les camions ayant montré souvent comment ils ont réussi à adapter leur marché et parfois leur itinéraire aux problèmes de congestion.

Concernant les interrogations générales soulevées par le SESP Christian Reynaud a rappelé pour le ferroviaire et la modélisation de la circulation des types de train (trains complets, wagons isolés) les options prises dans les travaux de recherche au niveau européen, incluant la question du choix des triages : il s'agit notamment du projet EUFRANET (méthode Université de Hanovre), choix du modèle SCENARIO FRET (NESTEAR pour RFF). De nouveaux développements de ce type auront lieu en 2006 dans le cadre du projet NEW OPERA (auquel participent RFF et NESTEAR) ;

Pour sa part NESTEAR a en effet fait l'option de la modélisation point à point sujet sur lequel Philippe Mathis reviendra d'ailleurs lorsqu'il parlera des deux différentes « écoles » qui se sont affrontées dans le cadre du projet ESPON sur la modélisation des réseaux en Europe et l'utilisation des SIG.

Pour l'introduction du maritime, comme pour d'ailleurs la prise en compte des trafics internationaux (et en particulier les trafics de transit), la seule réponse pour Christian Reynaud est de concevoir d'entrée de jeu le modèle à l'échelle européenne, voire d'un espace plus large et de développer un modèle à ce niveau y compris pour des analyses concernant un réseau national : c'est le choix fait bien entendu dans les modèles européens du 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> PCRD mais aussi dans les études réalisées pour le compte de RFF, (ou dans des études en cours de lignes d'autoroute de la mer).

Concernant la question plus spécifique des 4 étapes du modèle du SESP :

Pour la génération de travail une première question est celle de la pertinence des données d'emplois par zone : la statistique est en général fiable mais la projection n'est pas facile. D'où l'idée de recourir à d'autres variables explicatives, notamment des variables de valeur ajoutée par grands secteurs

économiques ; cette option est le plus souvent celle qui a été prise dans d'autres modèles avec les données régionales d'EUROSTAT<sup>19</sup>.

Mais une autre remarque est aussi celle sur la pertinence d'une décomposition en 10 chapitres NST ; celle-ci semble peu pertinente pour une analyse d'activité sectorielle compte tenu de l'hétérogénéité de certains chapitres : d'où d'autres regroupements réalisés dans plusieurs modèles utilisés actuellement<sup>20</sup> en Europe.

Concernant la distribution la question de l'évolution de la distance dans la fonction de « résistance » a été posée.

Pour le choix modal le débat sur les préférences déclarées a été posé : le SESP dispose de nouveaux résultats d'enquêtes qui seront bientôt diffusés. Lors du séminaire précédent BVU avait présenté comment en RFA une accumulation importante de ces résultats d'enquêtes avait pu être capitalisée pour le modèle allemand, et la question de la transposition de ces résultats a été posée lorsque des résultats de l'enquête allemande et de l'enquête d'EUFRANET ont été combinés pour le modèle de choix modal (actuellement il y a un projet franco-allemand déposé sur ce sujet au PREDIT).

---

<sup>19</sup> Travaux sur la dynamique régionale en Europe du 5<sup>e</sup> PCRD et présentation du premier séminaire MODE-M sur les modèles en RFA et Italie, ainsi que pr »sentation du modèle NEAC

<sup>20</sup> en particulier nouveaux regroupements à partir des 50 groupes NST

Le deuxième exposé concernait les nouveaux développements du modèle NODUS (NODUS 5).

La vision NODUS 4 avait été présentée lors du séminaire précédent avec une introduction détaillée sur les modèles de réseaux virtuels, où les opérations dans les nœuds, et les moyens de transport sur les arcs sont décomposés permettant d'introduire de multiples combinaisons d'exploitation et des mesures des performances de chaînes de transport de points à points : ces différents modes d'exploitation ont des conséquences importantes sur les performances globales en termes de temps et de coût.

Il est rappelé que le modèle NODUS intègre complètement les étapes 3 et 4 du schéma classique de modélisation en 4 étapes ; le choix modal et l'affectation sont combiné par le simple calcul de la chaîne d'opérations la moins coûteuse.

La version 5 est plus facilement exploitable et les données sont complètement compatibles avec d'autres bases de SIG (les liens et les nœuds sont géocodés). Actuellement la base de donnée européenne a 17000 arcs (ce qui génère plus ou moins 300 000 arcs pour les réseaux « virtuels »), et un zonage NUTS II ou NUTS III (voire beaucoup plus fin en Belgique) est utilisé pour la confection des matrices OD. Le logiciel a été appliqué pour le développement du transport à et a donné lieu à de nombreuses autres applications pour le transport combiné, routier, la voie d'eau, et certaines liaisons de cabotage maritimes.

### **1. La procédure d'affectation**

Elle devient centrale dans l'exercice.

Deux questions fondamentales sont détaillées dans cette intervention. Prend-on en compte les comportements ? Prend-on en compte la capacité ?

Lorsque l'on croise les réponses possibles à ces deux questions on se retrouve face à différents types d'affectation possible :

- affectation par route ou mer si les deux réponses sont négatives.
- dans le cas d'une prise en compte des capacités mais pas des comportements on retrouve les problèmes mentionnés précédemment.
- soit à utiliser une méthode incrémentale sans pouvoir « revenir en arrière », même si l'on peut toujours effectuer une nouvelle itération avec les nouvelles données de temps et de coût obtenues après la première itération.
- soit à utiliser une méthode d'équilibre.

- dans le cadre d'une prise en compte des comportements mais pas des capacités on arrive à des méthodes dites multi-flux. Plusieurs tests ont été effectués avec NODUS et la recherche d'itinéraires alternatifs en pénalisant les premiers itinéraires choisis (méthodes multi flux de type déterministe). Mais on ne peut se contenter d'une méthode incrémentale de pénalisation d'arcs de réseaux conduisant à des itinéraires alternatifs très proches, avec peu d'intérêt, sans véritables alternatives de choix et certainement pas de changement modal ; d'où utilisation de méthodes plus radicales pour pénaliser les chemins le long « d'arbres de poids minimum » (cf exposé).

Quoiqu'il en soit il semble que les méthodes multi flux, et surtout d'équilibre, ne donnent pas des résultats très différents du « tout ou rien », sauf si le choix modal est « forcé » de manière assez radicale: il semble bien que la raison en soit la multiplicité des points d'entrées et de sorties et donc d'itinéraires considérés<sup>4</sup>.

Face à une situation où il y a plus de 2 millions de paires O/D le temps de calcul et son rapport doivent être aussi considérés : NODUS est doté d'un algorithme multi-flux rapide (1h) et d'un algorithme « exact » (12h).

## **2. Le recours au SIG**

NODUS a beaucoup progressé sur ce point et est devenu compatible avec toute une série de standards.

## **3. Gestion de bases de données**

NODUS a son propre gestionnaire de base de données, compatible JDBC/SQL, mais, grâce à la technologie JDBC, peut être couplé a des bases de données plus performantes (MySQL par exemple), ce qui est conseillé pour de « gros » problèmes.

Les premières questions à Bart Jourquin, de JD Blardone, portent sur l'intégration des étapes de choix modal et d'affectation ce qui résout un problème inhérent aux modèles à 4 étapes pour lesquels il y aura une différence de formulation entre les fonctions d'utilité de l'étape du choix modal et celle de l'étape d'affectation ; en déduire que cette différence s'explique par une différence de comportements entre chargeurs et opérateurs apparaît souvent plus comme une justification a posteriori d'une contrainte qu'impose la forme du modèle.

---

<sup>4</sup> Remarque a confirmé celle du séminaire précédent

Dans une analyse détaillée du modèle NODUS on peut par contre s'engager dans des explications qui consisteraient à dire que le chargeur est plus sensible à des éléments de coût de chargement / déchargement et l'opérateur de transport aux différents coûts d'opération pris en compte le long de la chaîne, mais l'approche de la description de l'intégralité de la chaîne fait que cette question ne se pose pas de la même manière.

La question des paramètres de qualité et de leur perception demeure par contre : perception du prix (coût)<sup>5</sup>, par rapport au temps, définition de la fiabilité. La question de l'intégration de la chaîne de transport dans l'ensemble d'une organisation logistique est aussi posée.

Concernant les facteurs de qualité leur définition a été faite de manière très systématique dans les modules de partage modal. Comme cela a été présenté pour le modèle allemand de BVU.

Les travaux de Fei Jiang vont dans le même sens.

Aussi les facteurs de qualité (estimés à partir d'enquêtes) révèlent une incidence forte sur le choix modal pour certains types de produits : c'est la raison pour laquelle dans les études récentes NESTEAR a maintenu un modèle de partage modal en parallèle avec un modèle d'affectation sur des chemins de transport, qui dans de nombreux cas permet d'assurer les deux fonctions d'affectation et de partage modal (travaux de Christophe Découpigny).

Concernant les questions de capacité Bart Jourquin, précise que NODUS peut prendre en compte les véhicules (avec des coûts d'exploitation de véhicules) et qu'il n'y a pas de ce point de vue des difficultés particulières pour traiter la congestion.

Les remarques de Philippe Mathis visent essentiellement à confronter les choix du modèle NODUS insistant notamment sur la pertinence de la modélisation point à point : les débats sur la modélisation zone à zone et point à point ont longtemps animé les discussions entre «écoles» et notamment entre les universités françaises et allemandes mais il semble bien acquis que l'approche point à point prévaut dorénavant, comme en témoignent les récents travaux du projet européen ESPON. Les enjeux d'accessibilité, d'impacts environnementaux n'en apparaissent que plus clairement comme certaines illustrations de son propos le montreront peu après.

---

<sup>5</sup> Il n'y a pas eu de débat prix/coût dans la mesure où les discussions sur les modèles se placent dans une perspective d'application de ces modèles à moyen terme.

Il confirme aussi ce que Bart Jourquin avait exprimé sur les choix des « 2e » chemins et la stabilité des résultats aussi que sur la difficulté de vouloir introduire la congestion sans des analyses plus fines de lieux, d'horaires voire de composition des trafics, VL et PL ; il insiste aussi sur les phénomènes de transfert de saturation.

Deux autres questions concernant la taille des lots et les retours à vide sont aussi posées à Bart Jourquin :

- sur le premier point la prise en compte de la taille des lots est techniquement possible (et le modèle y serait même bien adapté) ; mais la question est celle de la disponibilité des données.
- Pour les camions à vide ; ils ont été pris en compte ainsi que leur coût dans le schéma pour la région Wallons.

L'objet de l'intervention de Marc Gaudry est de présenter un « cadre comptable » pour présenter les modèles de transport de marchandises afin de mieux identifier leur structure et les points d'erreur possibles des modèles.

Cette approche qu'il présente pour la première fois mais qu'il nourri depuis plusieurs années s'inspire des travaux initiés par Quesnay (1959) et précisés par Leontieff (1941) sur les tables Input/output, disons N-L. Elle devrait aussi être très utile aux travaux des groupes 1 et 11 du PREDIT qui s'interrogent sur la portée et les limites du calcul économique pour l'évaluation des projets ou des politiques : l'objectif est d'utiliser le cadre comptable pour associer des étapes de modélisation du trafic à des cases particulières du cadre.

La démarche consiste donc, en partant d'une matrice N-L des flux et d'un réseau, de les dédoubler pour les étendre aux transports de manière simple: aux matrices des flux intermédiaires et finaux Q-L on associe par ailleurs des matrices d'entrée E et O-D : la matrice redéfinie contient en colonne N et E et en ligne N et L et E et O-D. On associe alors les points d'entrée des flux à E et les flux entre les points du réseau à N. Aux matrices initiales N-L sont donc associées deux autres matrices du système de transport.

On peut alors, si on le désire, poser à propos du cadre comptable élargi diverses questions dont :

- pertinence des matrices pour le modèle de trafic
- identité comptable du système
- signification des coefficients directs et indirects de « branche »
- différence entre une matrice non spatialisée et le nouveau tableau élargi apte à accepter les données spatiales du transport afin d'identifier des « aversions » spécifiques liées au transport.

Cette démarche est reprise en détail dans les explications qui suivent de Marc Gaudry.

L'intervention de Philippe Mathis part d'une analyse spatiale et territoriale des réseaux avant de parler de fonctionnement des systèmes de transport.

Philippe Mathis rappelle alors brièvement son parcours de professeur de géographie avant de devenir professeur d'aménagement. Il rappelle combien l'espace français et européen est contraint ou « non convexe » pour prendre une expression mathématique.

Ses travaux européens se sont déroulés depuis de nombreuses années dans le cadre du SDEC (Schéma de Développement de l'Espace Communautaire) puis d'ESPON (ou ORATE pour le sigle français). Il a été aussi étroitement associé aux travaux du CIADT notamment pour la préparation du Comité de décembre 2003 sur les projets prioritaires en France.

Pour Philippe Mathis l'approche des réseaux de transport a donné lieu à différentes écoles avec en arrière fond, des différences d'ordre « culturel », comme il venait de le rappeler entre l'approche par « centroïdes » et l'approche « point à point », l'approche « zonale » qui revêtait en Europe presque un caractère officiel et l'approche « polaire ».

Ainsi par exemple les problèmes d'accessibilité nécessitent des informations spatiales de plus en plus précises<sup>6</sup>.

Au niveau du schéma le développement de l'espace européen, ces revirements méthodologiques se sont en particulier exprimés lorsque le concept de « polycentrisme » s'est imposé il y a plusieurs années.

Une fois cette nouvelle démarche acquise toutes sortes de nouveaux indicateurs ont pu être produits : analyses fractales, analyses de vulnérabilité des réseaux à des événements exceptionnels (rupture brutale d'un maillon, inondations...), émissions des polluants dans les voisinages immédiats, « diffusion des itinéraires routiers » de l'ouverture à l'Est....

Cette approche a aussi permis d'introduire de manière exacte l'incidence des réglementations routières : les critères de réglementations européennes des chauffeurs routiers sont introduits dans leur succession de temps de repos et de conduite, à l'échelle de l'Europe de manière uniforme (pour que les pays poursuivent le même traitement) : pour Philippe Mathis ce point est fondamental dans toutes tentatives de modélisation.

De nombreuses illustrations sont reprises en annexe de tels exercices montrant des finalités nouvelles de la modélisation qui renvoie sur les choix initiaux de méthodes.

---

<sup>6</sup> Ce qui d'ailleurs confirme, en fret, le phénomène dit du « dernier » kilomètre.

Ses recommandations concernent alors l'étude de hiérarchie des réseaux, avec en appui, des cartes de relations évoluant en dynamique suivant le souhait de l'approche pour recouvrir, in fine, l'ensemble du territoire européen.

Il y a aussi des mises en garde qui concernent les démarches prospectives : la plupart des modèles notamment économétriques raisonnent et fait et par nécessité théorique à structure constante alors que l'enjeu est justement les changements volontaires de structures.

Aujourd'hui le contexte de ses transformations est celui du processus de décisions multi niveaux, multi agents... de nombreuses autorités organisatrices de transports coexistent. Des systèmes multi agents s'appliquent de fait à pratiquement chaque relation O/D pour le choix du chargeur ou du mode.

Dans cette complexité l'approche NODUS apparaît bien entendu particulièrement pertinente mais il faudra aller plus loin dans l'utilisation des outils à des fins prospectives.

Il faut passer à des systèmes multi agents et dans cette réflexion le nœud de réseau devient un élément fondamental, sachant que le nœud ne pourra pas être uniquement considéré comme une sorte de « sous réseau » avec ses propres liaisons et nœuds, insérés dans un réseau plus large « d'interconnexions » et « d'interopérabilités ».

De nouvelles cartes sont alors produites montrant comment se déforme l'espace lorsque de nouvelles métriques sont introduites dans l'espace avec l'accent mis sur des arcs ou des nœuds : pour Philippe Mathis de telles visualisations ont aussi une véritable force de démonstration, souvent plus convaincantes dans un processus d'évaluation ou de concertation que les résultats de calculs difficiles à interpréter.

Dans la discussion qui a suivi des questions ont été posées relatives au concept de synthèse multi agent point sur lequel de nouvelles thèses sont engagées avec Philippe Mathis (Zhen Cheng) et qui devrait être discuté si possible plus en profondeur lors d'un séminaire suivant.

L'importance des nœuds dans la modélisation est aussi rappelée sachant que dans un projet comme NEW OPERA la question de la définition des nœuds ferroviaires a été à nouveau posée.

A cette occasion il a été aussi insisté sur le fait que la route et le fer ne pouvaient certainement pas être traités de la même manière si la référence à des modèles de « fluide » a pu être validée dans le passé pour la route, il ne

peut certainement pas en être de même pour le fer et les autres modes ; pour ce faire il n'y a pas en réalité de loi débit vitesse et, si l'on se réfère aux travaux comme ceux de l'EPFL on sait bien que le problème est celui du tracé de sillons. Une fois le réseau « saturé » les vitesses sont celles définies par le sillon et il n'est pas possible d'affecter d'autres trains<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Dans un prochain séminaire Christophe Découpigny mentionnera une solution proposée dans le cadre de l'étude CFAL pour une modélisation ferroviaire sous contrainte de capacité et des difficultés qui en résultent pour toute évaluation de projet d'infrastructure.

## Compte rendu du séminaire du 4 Novembre 2005

Séminaire du 04 novembre 2005			
<u>Liste des participants :</u>		<u>Compte rendu, intervenants et interventions :</u>	
MM Michel JULIEN – DRAST		Compte rendu du séminaire	
Jean-Dominique BLARDONE – SESP		Ian WILLIAMS – Université de Cambridge	
J.C METEYER - SESP		Gernot LIETKE – IWW Université de Karlsruhe	
Jean CALIO – RFF		Christophe DECOUIGNY (NESTEAR)	
Jincheng NI - SNCF		Vesselin SIAROV (NESTEAR)	
Christophe RIZET – INRETS		Christophe DECOUIGNY (NESTEAR)	
Patrice SALINI		Zheng CHEN (NESTEAR)	
Ian WILLIAMS – Université de Cambridge		Marc GAUDRY (Université de Montréal et INRETS)	
Gernot LIETKE – IWW Université de Karlsruhe			
Marc GAUDRY (Université de Montréal et INRETS)			

Le programme du 3<sup>e</sup> séminaire comportait 4 interventions.

- deux interventions sur l'approfondissement d'étapes particulières de la modélisation du transport des marchandises à savoir :
  - modélisation du partage modal avec, en particulier, la modélisation du partage modal entre route, fer et transport combiné à partir d'un model développé pour le passage des Pyrénées (Marc Gaudry – Université de Montréal, INRETS)
  - l'affectation ferroviaire sous contrainte de capacité et de circulation avec une illustration sur la région Rhône Alpes et le

« nœud » lyonnais à partir d'une méthode mise au point à NESTEAR (C. Decoupigny – NESTEAR)

- ainsi que deux interventions sur des modèles développés dans les pays voisins.
  - un modèle spatial entrées / sorties de chaînes logistiques de marchandises (A spatial input–output and freight logistics model) mis au point au Royaume Uni pour le Ministère des Transports (Department of Transport) de WSP (Ian Williams – WSP)
  - un modèle de transport de marchandises développé par IWW (Université de Karlsruhe en RFA) pour être appliqué dans le projet CORRECT (projet DEUFRACO sur les corridors empruntant l'axe Woippy-Mannheim) en liaison avec NESTEAR, la DB, la SNCF et l'Université de Stuttgart (Gernot Lietke – IWW)

Donc deux grands axes dans la poursuite de la réflexion sur la modélisation, faisant référence à des applications pratiques permettant à la fois d'approfondir des problématiques spécifiques de la modélisation du transport de marchandises et d'étendre la revue d'expériences conduites à l'étranger sur le sujet.

Les supports de présentations sont repris en annexe.

## **I- PARTAGE MODAL ENTRE ROUTE, FER, TRANSPORT COMBINE DANS LE MODELE PYRENEES**

Cette recherche confiée à la SETEC a été engagée dans le cadre du PREDIT et achevée fin décembre 2004 ; elle a été poursuivie par Marc Gaudry qui doit remettre d'ici la fin de l'année un rapport sur différentes formulations mathématiques de modèle de partage modal et les conséquences que cela impliquera sur les hypothèses implicites ou explicites mais surtout sur les écarts importants entre résultats ; ceci étant, certaines formulations apparaissent beaucoup plus pertinentes que d'autres, qui peuvent parfois s'avérer à l'analyse complètement dominées par d'autres formulations qui collent mieux aux données et ont des propriétés théorique plus satisfaisantes.

L'introduction du transport combiné dans le partage modal a toujours été un point difficile de la modélisation du transport de marchandises, beaucoup de modèles se limitent de fait à un partage global rail route sans vraiment parvenir à estimer ce qui doit être pris au rail et à la route pour le transport combiné.

Le manque de données statistiques sur un partage observé entre ces 3 modes sur des O/D explique en partie cette situation sans sous-estimer pour

autant la difficulté d'introduire ce mode supplémentaire combinant rail et route dans la formulation mathématique du modèle.

Dans le cas du passage des Pyrénées il y a l'avantage de disposer de l'enquête aux frontières qui rassemble des données d'enquêtes auprès des transporteurs routiers lors du passage de la frontière ainsi que des données fournies par les opérateurs ferroviaires.

Ces données sont fournies par produit (ici traitées en 10 catégories qui sont les chapitres NST) par origine et destination suivant un découpage NUTS II / III voire NUTS I suivant les régions ou pays considérés plus au moins proches des Pyrénées.

Dans ces enquêtes il apparaît clairement que seuls deux points importants de passage méritent d'être considérés pour l'exercice : passages par Hendaye / Bariatou ou Port Bou (fer) / Perthus (route) qui concentrent plus de 95 % des flux, la route dominant largement le marché (à plus de 90 % de part modale si l'on exclut le maritime).

Toutefois il faut souligner que le transport maritime n'est pas pris en compte, ni les transbordements route / rail aux frontières (transbordements effectués du côté français presque exclusivement, liés en grandes parties à la différence d'écartement ferroviaire).

En conclusion il s'agit d'une base de données de flux agrégés par origine destination sur laquelle différentes formes de modèles vont être analysées, chaque part modale étant associée à des prix / Km, des vitesses, et des distances : une formulation en taux et non en tarif et temps comme cela est le cas dans l'utilisation de modèles logit classiques, formulation qui s'est avérée bien meilleure.

3 types de modèles sont analysés :

- le modèle logit linéaire qui doit être très vite banni compte tenu des hypothèses intrinsèques de sa forme mathématique inadaptée au problème posé et source d'erreur.
- le modèle logit avec transformation de « Box – Cox, qui n'est plus à élasticité constante (et ont l'utilisation a été déjà présentée lors du premier séminaire pour le modèle allemand)
- et enfin une nouvelles forme de modèle logit développé par Marc Gaudry et qui sera appelé le « Box-Cox Généralisé » ; dans ce modèle l'utilité n'est plus additive, ce qui permet d'introduire des notions de complémentarité entre modes alors que les modèles de partage modal supposent, dans la grande majorité des cas, la substituabilité.

Pour le passage des Pyrénées les résultats des 3 formes de modèles se sont avérés très différents et ont montré l'intérêt de la 3<sup>e</sup> forme de modèle.

Sur le plan pratique :

- à partir des 10 chapitres NST, définition des flux combinables (suite à une enquête réalisée par Alptunnel, prenant en compte le fait que chaque type de produit n'a pas le même prix de transport routier ou ferroviaire (fer conventionnel puisque le transport combiné est tarifé à la boîte sans qu'il y ait connaissance du contenu).

Au total donc une base de données avec 749 paires O/D où figurent les 3 modes, exprimés en parts modales.

Le nuage de points correspondant se révèle particulièrement dispersé avec une forte concentration de points proches de 100 % routier, même si certains points peuvent révéler 70% de partage en faveur du combiné.

L'introduction du prix / TK réduit cette dispersion et l'introduction des vitesses montre clairement en fonction des distances, les ruptures liées aux contraintes routières de temps de conduite, une fois vérifiée la meilleure qualité d'ajustement des transformations non linéaires des variables, la 3<sup>e</sup> forme de modèle s'avère donc beaucoup mieux ajustée aux données de parts de marché observées ; on peut alors en déduire des élasticités directes et croisées.

- élasticités directes supérieures aux élasticités croisées.
- élasticités croisées positives ou négatives suivant l'importance relative d'effets de substituabilité ou de complémentarité.

Lors du débat un premier ensemble de questions a porté sur les notions de prix / coûts, leur évaluation, leur corrélation entre les modes (Jean Calio, JD Blardone)

- les prix routiers et les prix ferroviaires seraient corrélés puisque le marché routier étant dominant, le fer doit s'adapter ; de plus le combiné comporte une composante de prix routier pour le transport terminal.
- mais l'étude a pris en compte en réalité des coûts plutôt que des prix.

Un autre ensemble de questions a porté sur la spécificité du marché transpyrénéen (C. Reynaud, P. Salini)

- une offre de transport combiné limitée pour la relation entre l'Espagne et le reste de l'Europe sachant qu'une base d'offre de service de transport combiné (terminal à terminal) n'a pas été utilisée pour

caractériser l'offre de transport entre des terminaux espagnols mais les résultats de l'enquête.

- une spécificité des trafics actuels qui sont souvent des trafics inter industries ou inter usines de l'automobile et de la chimie à partir ou vers les implantations espagnoles bien localisées (trains industriels complets)

Or la logique d'offre est souvent déterminante pour apprécier la part du combiné voire du ferroviaire prenant en compte les services réguliers offerts entre terminaux, voire l'existence ou non d'embranchements industriels. Enfin quelques questions ont été posées sur les résultats obtenus pour les élasticités et notamment pour la sensibilité à une hausse des prix routiers.

En conclusion Marc Gaudry a insisté sur le fait que les prix et les vitesses sont bien apparues comme ayant un rôle significatif dans les résultats, ce qui montre l'existence d'une interaction offre demande sur un marché pour du transport combiné ainsi que sur l'importance du choix de formulation du modèle, qui a des conséquences considérables sur les résultats de part modales. Il retient également l'intérêt d'une application éventuelle aux traversées alpines, zones sur lesquelles il existe un marché combiné plus diversifié et performant.

## **II- L’AFFECTATION FERROVIAIRE SANS CONTRAINTE DE CAPACITE ET DE CIRCULATION – UNE ILLUSTRATION SUR LA REGION RHONE ALPES (C. Decoupigny NESTEAR)**

Plusieurs modèles d’affectation ferroviaire ont été mis au point par NESTEAR suite aux travaux du projet EUFRANET (réseaux à priorité fret en Europe du 4<sup>e</sup> PCRD) et du projets SCENARIO FRET (réalisé pour le compte de RFF avec un groupe de suivi composé de représentants de RFF, du SES, de la DTT et de la SNCF)

Bien que les analyses de capacité aient été faites à l’occasion de ces travaux en utilisant notamment pour l’Europe les données de l’UIC (qui fournissent par secteur des nombres de trains de voyageurs et de marchandises ainsi que des caractéristiques de lignes) des contraintes de capacité n’ont pas été formellement introduites : seuls des points noirs ont été identifiés pour le fret.

Toutefois un modèle différenciant déjà des types de trains : (trains directs, trains de lotissement, trains combinés) et introduisant à l’échelle de l’Europe le passage par triage :

- dans EUFRANET en s’efforçant de reproduire des plans de transports validés par les compagnies nationales participant au projet : DB, SNCF, chemins de fer suédois).
- dans SCENARIOS FRET en introduisant une fonction de coût de passage par les triages pour les wagons isolés, une telle approche avait d’ailleurs aussi été développée dans IQ (transport combiné cf. article de Laura Wynther dans publications de l’INRIA) ou bien dans une thèse de l’Ecole des Ponts (ENPC 2001 ?)

Dans le cas de la région lyonnaise on a affaire à un véritable « nœud ferroviaire régional » où des contraintes de capacité doivent être introduites avec précision pour évaluer de manière sérieuse l’intérêt d’une nouvelle infrastructure de contournement fret de Lyon.

Cette région est une zone de rencontre d’un grand nombre de flux d’origines et de destinations différentes (couloir français Nord – Sud, trafics d’échanges et de transit avec l’Espagne et l’Italie), de nature également très différente (TER, transport régionaux et TGV pour les voyageurs, trains internationaux, locaux, trains directs et de lotissement pour les marchandises qui ont leur propre logique de circulation).

Beaucoup de projets ferroviaires ont alors une incidence directe et indirecte sur cette région

- projet de la Magistrale Eco fret dont la région lyonnaise est un des principaux nœuds, Lyon - Turin, Barcelone - Perpignan, LGV Rhin Rhône...
- projets d'aménagement régionaux et projets de développement important de services TER.
- projets d'autoroutes ferroviaires sur l'axe Nord Sud ou bien en direction de l'Italie.

Tous ces éléments doivent être pris en compte pour une analyse en 2020 de l'intérêt d'un contournement fret de Lyon.

Sur le plan de la méthode il faut alors souligner que l'affectation ferroviaire ne peut se faire comme l'affectation routière : dans ce cas il faudrait un modèle « discret » d'affectation des trains qui pourrait ou qui ne pourrait pas passer par une section donnée. Lorsque sur une section il n'y a plus de sillon disponible le train ne peut être que détourné, dans la zone ou en dehors de la zone, ou bien être éliminé au profit de la route.

Dans l'exercice réalisé présenté par Christophe Decoupigny 3 niveaux d'analyse doivent être distingués :

- un niveau européen où un modèle (SCENARIO FRET) a été mis au point
- un niveau (fenêtre) « Magistrale Eco fret » du Nord de la France aux frontières italiennes et espagnoles où des projets sont introduits (13 scénarios sont testés définis par RFF)
- un niveau région lyonnaise où les « réserves de capacités » disponibles pour le fret sont définies par section par RFF (la réserve de capacité disponible est définie par rapport à une capacité théorique d'un secteur, de laquelle des sillons voyageurs et autoroutes ferroviaires ont été déduits).

Rien ne s'oppose à ce que ces affectations sous contrainte de capacités soient étendues à l'ensemble du territoire national et européen : dans le cadre du projet CORRECT l'exercice sera d'ailleurs étendu à des corridors franco-allemands ; en effet le modèle d'affectation est compatible avec les 3 autres étapes du modèle SCENARIOS FRET qui dispose ainsi de 2 options suivant que l'on souhaite ou non travailler sous contrainte de capacité par partie ou ensemble d'un réseau.

Dans l'affectation ferroviaire il fallait donc intégrer de nouvelles contraintes liées.

- à une logique de réseaux qui se traduit par l'existence de capacités théoriques par section, d'où sont déduites des capacités disponibles (ou « résiduelles ») pour les trains de marchandises.

Ces capacités théoriques dépendent des caractéristiques physiques des lignes et tiennent compte des vitesses de trains différentes par type de trains. Ceci correspond d'ailleurs à une réalité observée sur les vitesses moyennes différentes des trains par section (cf. SCENARIO FRET), réalité prise en compte dans le tracé des sillons.

- à des interdictions de circuler soit parce que le tronçon est saturé ou bien parce que la manœuvre n'est pas possible lorsque deux lignes ferroviaires se rencontrent (cisaillement) : ces détails sur les manœuvres se retrouvent dans les descriptions de base du réseau SNCF.
- A des logiques d'organisation de circulation sur ces réseaux liés :
  - au type de train dans la mesure où des types de train différents n'ont pas nécessairement la même logique de circulation.

Par exemple les trains de lotissement vers l'Italie doivent obligatoirement passer par Sibellin situé au centre de nœud lyonnais, et les trains de combiné en provenance ou destination de la région lyonnaise sont acheminés sur Vénissieux.

A partir de ces principaux nœuds ferroviaires la circulation des trains locaux doit aussi être prise en compte vers une dizaine de points d'entrée et de sortie du réseau dans la région lyonnaise.

- choix des priorités de circulation entre type de trains, les trains internationaux étant considérés comme prioritaires parmi les trains de marchandises.

D'où une méthode mise au point basée sur les principes suivants :

- Affectation des trains selon le chemin minimal en temps de transport prenant en compte les contraintes du réseau et de circulation précédente.
- Choix de priorité entre trains pour chaque affectation
- Introduction de contraintes de capacité fournies par RFF.

De manière pratique les trains sont affectés en suivant un certain ordre jusqu'à ce qu'une première contrainte de capacité soit rencontrée, conduisant à « couper » la section, et à rechercher un autre itinéraire jusqu'à ce qu'une seconde contrainte de capacité soit rencontrée et ...

Ainsi il est possible de déterminer comment apparaissent dans la région les points successifs de contrainte de capacité (points noirs sur les cartes) avec,

à chaque fois, l'information sur les types de trains qui ont pu être affectés avant que la contrainte de capacité ne se manifeste. A partir de là les principaux itinéraires alternatifs sont aussi précisés.

D'une manière générale un certain nombre de points ont été sélectionnés dans la zone afin de pouvoir suivre le cheminement des types de trains dans la zone lyonnaise et sur les principaux points d'entrée et de sortie de cette zone.

La validation de la méthode a été effectuée en s'assurant que le nombre de trains affectés sur les sections était assez proche du nombre de trains observés sur ces sections. La reproductibilité des résultats a aussi multiplié d'autant le nombre de simulations.

Les simulations de 13 scénarios ont été effectuées à l'horizon 2020 dont certains résultats sont présentés montrant comment se propagent les problèmes de saturation des réseaux au fur et à mesure que l'on intègre des trains supplémentaires.

Les nouveaux projets génèrent de nouveaux trafics ferroviaires de marchandises mais ne créent pas pour autant de nouvelles capacités dans les mêmes proportions pour les trains de marchandises.

En effet il faut aussi garder à l'esprit :

- les projets régionaux TER.
- mais aussi le nombre croissant de trains d'autoroute ferroviaire qui sont introduits comme hypothèses exogènes de l'exercice de simulation fournis par RFF.

Lorsque les contraintes de capacités se renforcent au point de déterminer significativement l'offre ferroviaire, alors les trafics sont réaffectés sur la route suivant la mécanique suivante :

- recherche du chemin minimal
- recherche des routes alternatives à l'intérieur ou en dehors de la zone.
- rebasculément éventuel sur le mode routier si le temps ferroviaire se détériore par rapport au temps routier pour lequel les cycles temps de repos – temps de conduite sont pris en compte.

Des résultats synthétiques sont présentés en nombre de trains de marchandises dans la zone ainsi qu'en tonnages ferroviaires transitant par la zone sachant que les tonnages n'incluent pas le trafic marchandises d'autoroutes ferroviaires.

Durant la discussion qui a suivi la présentation de C. Decoupigny plusieurs points sont soulevés.

- La question des fluctuations de trafics dans la mesure où les contraintes de capacité apparaissent d'abord au moment des pointes de trafic journalières ou horaires

Le travail a en effet été conduit avec des données de jour moyen fournies par RFF et la SNCF mais rien ne s'oppose dans la méthode à considérer des périodes différentes avec notamment une distinction entre jour et nuit et éventuellement périodes de pointes.

On peut toutefois penser que les hypothèses fournies peuvent être considérées comme acceptables au regard des principaux problèmes de pointes de trafic (au moins dans un premier temps) dont les membres du groupes de suivi étaient conscients.

- La question de la validation de la méthode.

Par delà la question de la reproductibilité qui est éventuelle dans un tel exercice, la validation s'est faite essentiellement par comparaison sur les principales sections des données simulées (en nombre de trains, par type de trains) et des données observées. A cet égard il est rappelé que dans SCENARIO FRET plus d'une centaine de sections avaient été choisies sur le réseau français par RFF. Sections sur lesquelles le trafic simulé ne devait pas s'écarter de plus de 10% du trafic observé.

Dans le cas du contournement de Lyon il n'a pas été procédé formellement de la sorte mais il faut rappeler les conditions de réalisation de l'étude avec notamment un dialogue avec un comité de suivi comprenant :

- des représentants nationaux de RFF et SNCF
- des représentants régionaux de RFF et SNCF

Ainsi une double concertation et validation pouvait s'établir non seulement à partir des connaissances existantes sur le fonctionnement des réseaux à la SNCF et à RFF mais aussi entre la connaissance aux niveaux national et régional. De ce point de vue les responsables régionaux de la SNCF ont une connaissance évidente de la circulation des trains dans la région, dont les précisions ont parfois conduit à reconsidérer des hypothèses de travail sur l'organisation des circulations (exemple du lotissement) voire sur les contraintes de capacité une fois que l'ensemble de la zone était soumise à une logique (formalisée par la méthode d'affectation) de la circulation des trains.

A ce stade l'enjeu était aussi celui de la cohérence sur la zone de tout un ensemble de projets divers concernant des projets d'infrastructures (y compris aménagements) et des politiques de services (voyageurs et marchandises). Pour NESTEAR il faut aussi souligner que cela s'est traduit par un très grand nombre de simulations et d'allers - retours avec les membres du groupe de suivi, qui n'avaient pas été prévus initialement.

- La généralisation de la méthode à un espace plus large voire à une autre zone

A ce stade il faut rappeler que cette méthode d'affectation ferroviaire n'est pas indépendante d'une démarche globale de modélisation du transport à l'échelle européenne (modèle SCENARIO FRET développé de 2001 à 2004 par NESTEAR)<sup>21</sup> : de ce point de vue il s'agit d'une amélioration du module d'affectation avec retour possible sur le choix modal confirmant ainsi l'intérêt d'une approche plus imbriquée des étapes de partage modal et d'affectation (cf. premier séminaire MODEM). Le modèle SCENARIO FRET a d'ailleurs été appliqué à l'ensemble de la Magistrale Eco Fret pour les différents scénarios 2020 afin de préciser la génération de trafic correspondante et les trafics ferroviaires correspondant par types de trains. Il n'y a donc pas de difficulté théorique à généraliser la méthode à l'ensemble de l'espace français ou européen : la question est de savoir quelle contrainte de circulation on désire introduire et de fournir l'information correspondante.

- La recherche d'une solution intermédiaire (modèle « stratégique ») entre une affectation détaillée prenant en compte toutes les contraintes d'exploitation d'un réseau et une affectation plus globale intégrée dans ce que l'on pourrait appeler un modèle national (ou européen) « stratégique ».

La version la plus détaillée de l'affectation est celle qui conduit à tracer les sillons comme le fait l'EPFL (Prof. Rivier de Lausanne) mais sur des espaces plus restreints.

Dans les versions plus agrégées il est certain que les courbes débit/vitesse n'apparaissent pas appropriées pour intégrer les contraintes de capacité. Il n'est donc pas facile de répondre à cette question de modèle stratégique qui prendrait en compte les questions de capacité ferroviaire.

Une solution pourrait toutefois se concentrer sur la recherche des principaux points « noirs » nationaux ou européens sur lesquels se concentre l'exercice d'affectation ferroviaire sous contrainte.

---

<sup>21</sup> RFF nombre d'ouvrage mais aussi la SNCF, la DAEI (SES), la DTT faisant partie de groupe de suivi

Une telle identification de points noirs ne pourra probablement se faire que sur la base d'un dialogue entre opérateurs ferroviaires et modélisateurs.

- comme cela été fait initialement dans EUFRANET où un objectif d'identification de plus de trente points noirs avait été effectué (mais les conditions ont changé depuis)
- voire comme cela a été fait pour les études CFAL et Magistrale Eco fret où des points « critiques » du fonctionnement du réseau en région lyonnaise ont pu être analysés avec l'apport des résultats des simulations.

Quoi qu'il en soit il faut bien voir que l'affectation ferroviaire ne peut pas se faire comme l'affectation routière, que des informations ponctuelles précises par tout ou rien sont parfois nécessaires, rappelant ainsi les contraintes de fonctionnement en réseau et que la définition d'un modèle stratégique dépend des scénarios de politique que l'on désire évaluer lorsque l'on combine la définition d'un réseau ferroviaire avec des politiques d'exploitation alors on est souvent contraint de descendre dans un détail assez fin dans la description du réseau et de son fonctionnement, sachant que les réseaux ferroviaires de fret ne sont pas aussi « maillés » que les réseaux routiers.

- Et enfin un dernier point évoqué, et pas le moindre, est celui des conséquences d'une affectation ferroviaire sur l'évaluation d'un projet

D'un côté il est clair qu'un projet d'investissement ferroviaire se justifie d'abord par des objectifs d'accroissement de capacité et d'amélioration de service.

Or de tels objectifs ne peuvent être analysés valablement sans prendre en compte les précédents éléments décrits et en particulier les modes d'exploitation d'un réseau ferroviaire, relatif à la circulation des différents types de trains, aux priorités accordées entre services.

D'un autre côté il y a l'application de la directive sur l'évaluation des projets révisée en 2005.

Comment une telle directive peut-elle être appliquée ? A quel niveau territorial faut-il considérer l'évaluation d'un projet notamment lorsque l'on prend en compte les capacités ferroviaires ? Au niveau régional, national, européen ? Il est certain que pour la directive nationale le niveau national prévaut.

Mais alors il faut bien garder trace des transferts possibles depuis leur origine à leur destination, entre les itinéraires et entre les modes ne serait ce que pour en estimer les impacts entre les entrées et sorties du territoire. En

outre les contraintes de capacités ferroviaires ne peuvent être appliquées qu'à une partie du territoire national.

Autant de points essentiels qui montrent l'écart qui existe encore entre les pratiques d'évaluation, et les réalités d'utilisation du réseau et qui mérite d'être traité au niveau de la recherche.

### **III - UN MODELE ENTREE / SORTIES DE TRANSPORT ET DE LOGISTIQUE**

Ian Williams a été impliqué dans les premières recherches européennes sur la mise au point d'un modèle de réseau à l'échelle européenne; il s'agissait d'abord des modèles EUNET et STREAMS de MEP du Quatrième Programme Cadre, approfondis dans le cadre des projets SEA (Etude pilote de la Commission sur l'évaluation stratégique des réseaux transeuropéens) et SCENES (où la démarche initiale de MEP était articulée avec l'approche de TNO (modèle hollandais SMILE sur les familles logistiques) et enfin appliqués dans le projets européen EXPEDITE (dernière recherche du PCRD achevée en 2002 sur les projections à l'échelle européenne incluant les pays de l'Europe Centrale en liaison avec le travail de THINK UP sur la segmentation du marché des transports des marchandises.

Depuis, MEP a été racheté par WSP et le travail de modélisation a été poursuivi pour le compte du Ministère des Transports du Royaume Uni et la présentation faite au séminaire se réfère à ses derniers développements.

Donc, dès l'origine, une logique de modélisation spatiale des échanges (MEPLAN appliqué d'abord à l'échelle nationale et régionale) pour en déduire un modèle de transport en terme de flux par modes ou en tonnage. Sur le plan pratique les échanges sont d'abord considérés en valeur suivant la nomenclature économique utilisée pour la constitution de matrice input / output (cf. 1<sup>e</sup> scénario) pour être transformés en flux d'échanges en tonnage, après estimation de la valeur d'une tonne transportée par type de produit.

Enfin, Ian WILLIAM rappelle en introduction l'intérêt de certains sites web sur le modèle de fret : site du Ministère anglais sur la revue des modèles de fret, site web de SIKA pour des modèles d'équilibre économique général. Sont également mentionnées des approches de micro simulation développées aux Etats-Unis notamment dans l'Oregon.

L'approche de Ian Williams se situe dans la ligne des modèles I/O (input/output) de MEPLAN : bien qu'elle détaille pour un produit différents types de chaînes logistiques elle ne se situe pas au niveau micro économique.

L'intervention de Ian Williams s'est articulée autour de 5 points

1. le contexte de la recherche pour le Ministère du transport (DFT)
2. l'approche conceptuelle
3. la structure du modèle sachant que la description mathématique détaillé serait partiellement longue.
4. les résultats
5. l'utilisation du modèle et ses développements éventuels

Le modèle actuel est appelé **EUNET 2**.

L'idée de départ est toujours que, excepté pour le vrac (charbon, acier..) le produit chemine rarement d'un point de production à un point de consommation (qu'il s'agisse de consommation finale ou intermédiaire). D'où la nécessité de décrire pour chaque produit un ensemble de chaînes logistiques types. D'où aussi la nécessité d'introduire des centres de distribution régionaux et nationaux (au Royaume Uni beaucoup de centres régionaux ont été fermés ces dernières années), éventuellement des dépôts industriels ainsi que des plates formes intermodales, qui doivent être localisés (et sont géocodés) par rapports aux réseaux routier et ferroviaire.

Pour le rail les deux principaux marchés sont les transports de vrac ou les transports de conteneurs au Royaume Uni.

Pour la route il y a différentes tailles d'envois utilisant différents types de véhicules, des véhicules légers aux véhicules lourds.

L'approche conceptuelle, la description des chaînes, ainsi que la structure détaillée du modèle sont décrites en annexe.

Le modèle a permis de réaliser les prévisions à l'horizon 2016 avec en particulier des résultats par type de véhicules routiers, depuis les camionnettes jusqu'aux véhicules articulés en tonnes et TK. Les trafics sont affectés en nombre de véhicules sur le réseau d'infrastructure du Royaume Uni. Des tests sont effectués pour un péage autoroutier ainsi que pour une augmentation de 10% des coûts routiers révélant des élasticités aux coûts routiers qui apparaissent cohérentes.

La discussion a d'abord porté sur l'intérêt d'une telle approche d'introduction de familles logistiques qui permet, non seulement une meilleure appréhension de la charge des réseaux mais aussi la prise en compte de la taille des envois entre différentes configurations de chaîne logistiques.

Plus de détails sont demandés sur le nombre de chaînes considérées par type de produit : il est certain que ce nombre est limité pour certains produits industriels de vrac comme le charbon mais il peut atteindre bien plus de dix types de chaîne pour un produit à valeur ajoutée élevée.

Pour le chemin de fer il faut rappeler que l'offre est concentrée sur quelques marchés spécifiques et qu'il n'y a pas vraiment d'offre de wagons isolés.

D'une manière générale la décomposition initiale par type et produit est fondamentale pour bien faire le lien avec l'activité économique (avec en particulier la distinction entre échanges inter industries et activité de distribution finale), mais aussi pour bien considérer la chaîne logistique :

dans la vision actuelle de EUNET 2, 25 types de produits sont choisis alors qu'il n'y avait dans STREAMS que 13 types de produits ; il est vrai que STREAMS était développé à l'échelle européenne sachant que EUNET 2 est appliqué à l'échelle du Royaume Uni mais sans intégrer des chaînes d'importation et d'exportation. Pour Ian Williams les résultats s'améliorent avec la prise en compte d'un plus grand nombre de produits.

Dans la discussion également apparaît l'intérêt du développement d'une telle démarche avec des réflexions sur la logistique urbaine.

Concernant les données sur les localisations des centres de distribution et d'entrepôts il est convenu de se référer à des fichiers lorsqu'ils existent précisant les superficies de ces installations et leur localisation : ces fichiers existent en France et ont été utilisés par le SES pour l'analyse de l'évolution du nombre d'entrepôts et en particulier des grands entrepôts et de leur localisation en Région Parisienne (SES Alain Sauvant).

Le rapport complet sur ce travail a été publié récemment sur le site : [http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft\\_econappr/documents/page/dft\\_econappr\\_610584.hcsp](http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_econappr/documents/page/dft_econappr_610584.hcsp)

#### **IV - LE MODELE OVID PRESENTE PAR GERNOT LIETKE**

La démarche de modélisation du transport de marchandises engagée par IWW s'attache à la génération de trafic, à la répartition modale aussi qu'à l'affectation des flux sur les réseaux, en vue notamment d'une application pour le projet CORRECT du programme franco-allemand DEUFRACO relative à l'analyse du corridor ferroviaire passant par Woippy et Mannheim.

Cette démarche, comme la précédente s'attache également à une analyse plus fine des mécanismes de génération de trafic pour aboutir à une affectation point à point de trafics le long du corridor considéré.

Une première remarque de Gernot Lietke concerne les limites de la nomenclature NST pour engager une réflexion sur les échanges économiques : avec la nomenclature NST il n'est pas possible de bien faire une distinction entre différents niveaux de chaîne logistique suivant qu'il est fait référence à des chaînes d'approvisionnement de matières premières, d'échanges interindustriels de semi produits, d'acheminement des produits finaux. Quelques exemples simples montrent très vite que les produits au sein d'un chapitre, d'un groupe, voire d'un secteur NST ne sont pas homogènes au regard d'une analyse des circuits économiques.

Cette insuffisance est particulièrement préoccupante lorsque l'analyse du transport est indissociable de celle de chaîne logistique, lorsqu'il faut

distinguer entre un input et output industriels (les produits d'entrée et de sorties sont souvent dans la même catégorie NST) lorsqu'il faut introduire des critères de distribution et de groupage.

Une réponse de IWW a été notamment d'introduire des types de voyages ou « trip patterns » suivant que le transport est organisé en navette, en circuit triangulaire, en circuit de groupage avec acheminement principal (consolidation trips...).

Pour le choix modal utilisé est un modèle multinomial nested logit avec une distinction par taille de lots (0-15 t, 15-25 t, > 25 t) afin de mettre l'accent sur les différences rencontrées entre l'utilisation d'un camion complet et celle d'un groupe de wagons. L'utilisation d'un modèle logit lorsque l'on mélange les tailles de lots n'a en réalité qu'une signification très limitée car l'ajustement des courbes est appliqué en réalité à des segments de marché obéissant à des logiques de coûts et d'organisation très différentes : la valeur explicative est très réduite et l'ajustement ne devient qu'un artifice mathématique.

Concernant l'affectation l'accent est mis sur la localisation des entrepôts et des centres de distribution ainsi que sur l'existence ou non d'embranchement ferroviaire.

Les détails du réseau allemand ferroviaire ont été géocodés en vue notamment d'une application au projet CORRECT conduit en liaison avec NESTEAR pour la partie française.

Toutefois pour les entrepôts les données relatives en nombre d'employés sont difficiles à utiliser ; là encore, il est important de trouver un interlocuteur plus pertinent pour caractériser le pouvoir d'attraction de ces entrepôts mais les données sur les superficies sont différentes en RFA.

D'une manière générale la discussion sur l'intervention de Gernot Lietke a bien recoupé celle qui s'était engagée après l'intervention de Ian Williams.

- à savoir l'importance de la logique économique des échanges avec la nécessité de différencier les circuits interindustriels et les circuits de distribution.
- L'importance des facteurs logistiques d'entreposage de groupage-dégroupage et de taille de lot.
- La nécessité du géocodage des centres de distribution et d'entrepôt pour l'affectation sur réseau.

Toutefois l'approche typologique des chaînes logistiques est quelque peu différente et IWW descend plus en détail vers la micro simulation en ce qui concerne une affectation point à point avec notamment la prise en compte du rôle des embranchements ferroviaires, lesquels demeurent assez nombreux en RFA mais sont plus limités à certain type d'activités au Royaume Uni.

Le 3<sup>e</sup> séminaire s'est alors conclu sur la proposition du prochain séminaire et des suites éventuelles de la démarche.

Parmi les propositions possibles l'intégration du transport maritime (cabotage et long court) a été mentionnée.

De même un approfondissement du problème d'affectation ferroviaire est apparu comme particulièrement important dans la mesure où sur ce plan, les affectations de type « routier » avec des courbes débit vitesse n'apparaissent pas appropriées comme cela a été souligné lors des 3 séminaires ; en outre la phase d'affectation ferroviaire est le plus souvent celle qui devra prendre en charge l'arbitrage entre différentes solutions intermodales, si plusieurs solutions coexistent (rail-route, autoroute ferroviaire ou maritime, VN- fer...) comme l'ont montré en particulier les deux interventions sur le modèle NODUS.

Des sujets sur la modélisation des coûts, sur l'articulation entre logistique urbaine et logistique interrégionale semblent aussi particulièrement intéressants suite aux récents travaux de M. Gaudry et E. Quinet, et dans la suite des présentations du 4 novembre sur l'intégration des chaînes logistiques.

Mais dans le même temps il est important de concentrer le dernier séminaire sur une thématique précise afin de ne pas se disperser dans des discussions qui ont été jusqu'à présent très riches.

La solution la plus raisonnable semble alors pour le mois de décembre de ce concentrer sur le premier sujet pour lequel des propositions peuvent être faites très vite.

Puis en liaison avec la DRAST il sera discuté dans quelle mesure et sous quelle forme une telle démarche peut être prolongée.

## Le modèle OVID présenté par Gernot Liedtke

La démarche de modélisation du transport de marchandises engagée par IWW s'attache à la génération de trafic, à la répartition modale aussi qu'à l'affectation des flux sur les réseaux, en vue notamment d'une application par le projet CORRECT du programme franco-allemand DEUFRACO relatif à l'analyse du corridor ferroviaire passant par Woippy et Mannheim.

Cette démarche, comme la précédente, s'attache également à une analyse plus fine des mécanismes de génération de trafic pour aboutir à une affectation point à point des trafics le long du corridor considéré.

Une première remarque de Gernot Liedtke concerne les limites de la nomenclature NST pour engager une réflexion sur les échanges économiques : avec la nomenclature NST il n'est pas possible de bien faire une distinction entre différents niveaux de chaîne logistique suivant qu'il est fait référence à des chaînes d'approvisionnement de matières premières d'échanges interindustriels de semi produits, d'acheminement des produits finaux. Quelques exemples simples montrent très vite que les produits au sein d'un chapitre, d'un groupe, voire d'un secteur NST ne sont pas homogènes au regard d'une analyse des circuits économiques.

Cette insuffisance est partiellement préoccupante lorsque l'analyse du transport est indissociable de celle des chaînes logistiques, lorsqu'il faut distinguer entre un input et output industriel (les produits d'entrée et de sorties sont souvent dans la même catégorie NST) lorsqu'il faut introduire des critères de distribution et de groupage.

Une réponse de l'IWW est l'introduction de nouvelles catégories :

- (1) Des échanges de produits entre les secteurs où des [commerce](#), les centres de distribution etc. sont des propres secteurs.
- (2) Des marchés de transport. Un marché est caractérisé par des types de voyage (trip patterns) où par un groupement de types de voyage et des activités de consolidation.

Concernant le choix modal M. Liedtke a discuté un modèle multinomial nested logit avec une distinction par taille de lot (0-15 t, 15-25 t, > 25 t). Des démonstrations montre que lorsque l'on mélange les tailles de lots n'a en réalité qu'une signification très limitée car l'ajustement des courbes est appliqué en réalité à des segments de marché obéissant à des logiques de coûts et d'organisation très différentes : la valeur explicative est très réduite et l'ajustement ne devient qu'un artifice mathématique. Pour cette raison, il est peut-être préférable de choisir une forme fonctionnelle basé sur le coût logistique si 'on veut calibrer un modèle du choix modal en utilisant les méthodes des préférences révélés ou déclarés.

Concernant l'affectation l'accent est mis sur la localisation des entrepôts et des centres de distribution ainsi que sur l'existence ou non d'embranchements ferroviaires.

Les détails du réseau ferroviaire allemand ont été géocodés en vue notamment d'une application au projet CORRECT conduit en liaison avec NESTEAR pour la partie française.

Toutefois pour les entrepôts les données relatives en nombre d'employés sont difficiles à utiliser ; là encore il est important de trouver un indicateur plus pertinent pour caractériser le pouvoir d'attraction de ces entrepôts mais les données sur les superficies sont déficientes en RFA.

D'une manière générale la discussion sur l'intervention de Gernot Liedtke a bien recoupé celle qui s'était engagée après l'intervention de Ian William.

- à savoir l'importance de la logique économique des échanges avec la nécessité de différencier les circuits interindustriels et les circuits de distribution.
- l'importance des facteurs logistiques d'entreposage, de groupage dégroupage et de taille des lots.
- la nécessité du géocodage des centres de distribution et d'entrepôt pour l'affectation sur réseau.

Toutefois l'approche typologique des chaînes logistiques est quelque peu différente et IWW descend plus en détail vers la micro simulation en ce qui concerne une affectation point à point avec notamment la prise en compte du rôle des embranchements ferroviaires, lesquels demeurent assez nombreux en RFA mais sont plus limités à certain type d'activités au Royaume Uni.

Le 3<sup>e</sup> séminaire s'est alors conclu sur la proposition du prochain séminaire et des suites éventuelles de la démarche.

Parmi les propositions possibles l'intégration du transport maritime (cabotage et long court) a été mentionnée.

De même un approfondissement du problème d'affectation ferroviaire est apparu comme particulièrement important dans la mesure où, sur ce plan, une affectation de type « routier » avec des courbes débit vitesse n'apparaît pas appropriée comme cela a été souligné lors des 3 séminaires ; en outre la phase d'affectation ferroviaire est le plus souvent celle qui devra prendre en charge l'arbitrage entre différentes solutions intermodales, si plusieurs solutions coexistent (rail-route, autoroute ferroviaire ou maritime, VN- fer...) comme l'ont montré en particulier les deux interventions sur le modèle NODUS.

Des sujets sur la modélisation des coûts, sur l'articulation entre logistique urbaine et logistique inter régionale semblent aussi particulièrement intéressants suite aux récents travaux de M. Gaudry et E. Quinet et dans la

continuité des présentations du 4 Novembre sur l'intégration des chaînes logistiques.

Mais dans le même temps il est important de concentrer le dernier séminaire sur une thématique précise afin de ne pas se disperser dans des discussions qui ont été jusqu'à présent très riches.

La solution la plus raisonnable semble alors pour le mois de décembre de se concentrer sur le premier sujet pour lequel la proposition pourra être faite très vite. Puis en liaison avec la DRAST, il sera discuté dans quelle mesure et sous quelle forme une telle démarche peut être prolongée.

## Compte rendu du séminaire du 16 Juin 2006

Séminaire du 16 juin 2006			
<u>Liste des participants :</u>		<u>Compte rendu, intervenants et interventions :</u>	
Michel JULIEN – DRAST		Compte rendu du séminaire	
Jean-Marc MOULINIER - Ministère de l'Équipement	Christian REYNAUD (NESTEAR)	Ralf FIEDLER - BMT	
Christophe RIZET - INRETS	Martine POINCELET (NESTEAR)	Maria FEO VALERO – Fundacion Valenciaport	
Patrice SALINI	Vesselin SIAROV (NESTEAR)	Christophe DECOUIGNY (NESTEAR)	
Jincheng NI - SNCF	Christophe DECOUIGNY (NESTEAR)	Marc GAUDRY (Université de Montréal et INRETS)	
Marc GAUDRY – Université de Montréal et INRETS			
Ralf FIEDLER - BMT			
Maria FEO VALERO – Fundacion Valenciaport			

Le 4<sup>e</sup> séminaire MODEM s'est centré sur la modélisation du transport maritime.

Jusqu'à présent le transport maritime n'était pas, en général, intégré dans les modèles de transport.

Lorsqu'il était abordé dans une démarche globale de transport il était en général traité de manière indépendante, comme d'ailleurs le transport aérien de fret.

Les flux terrestres liés au pré et post acheminement portuaire ont été néanmoins considérés dans plusieurs modèles, mais en considérant les ports comme pôles émetteurs et récepteurs de trafics particuliers sans prendre en compte l'ensemble de la chaîne maritime, et par voie de conséquence le choix du port pour entrer sur le territoire.

Plusieurs explications peuvent être avancées pour cette situation :

- des raisons d'organisation administrative qui font que longtemps le transport maritime était considéré comme un secteur à part relevant d'une réglementation internationale pour le Deep Sea (le Short Sea concernant souvent des transports spécifiques)
- des raisons plus techniques de modélisation qui font que la multiplication des modes rend plus difficile la mise au point d'un modèle de partage modal
- des raisons statistiques dans la mesure où le transport maritime qui est un maillon d'une chaîne peut générer des doubles comptes avec le transport terrestre.

Aujourd'hui il est bien clair que cette situation ne peut plus perdurer :

- parce que les liaisons maritimes à courte distance (Short Sea) font maintenant partie intégrante des réseaux européens (cf. révision des orientations des RTE en 2004 et le concept d'autoroute maritime)
- parce que le transport maritime à longue distance (Deep Sea) et en particulier le transport de conteneurs est un segment de la demande de transport particulièrement dynamique, qui croît rapidement avec la mondialisation des échanges :
  - prenant une part de plus en plus importante au sein des transports terrestres, sur des axes souvent très sollicités
  - devenant un enjeu stratégique d'une politique de développement de modes alternatifs qu'il s'agisse de la voie d'eau ou du fer.

La question a donc été posée pour le projet MODEM de la modélisation du transport maritime qu'il s'agisse du transport « short » sea ou « deep » sea.

4 présentations ont été programmées dans ce sens :

- un développement du modèle STAN qui, à partir d'une modélisation dans la zone baltique, est étendu progressivement à l'ensemble de l'Europe.

Le modèle STAN a été utilisé par la Commission pour une première appréhension du volume captable pour des « autoroutes maritimes ». En outre le modèle STAN dispose aussi d'une version pour la partie asiatique permettant aussi d'embrasser le problème du transport international.

- un modèle espagnol développé par la Fundacion du Port de Valence qui se concentre sur la question des autoroutes maritimes comme nouveau type de service.

Le modèle a été construit à partir d'une approche de préférences déclarées en impliquant notamment des transitaires

- les travaux réalisés par NESTEAR sur l'introduction des données maritimes dans les réseaux de transport
  - d'une part en élargissant la zone d'analyse à l'espace euro méditerranéen en incluant la Mer Noire et l'Europe centrale
  - d'autre part en intégrant des maillons maritimes dans les réseaux transeuropéens routiers et en effectuant sur ces nouveaux réseaux constitués (la dimension « nouvelle » des réseaux RTE) des recherches de chemins minimaux afin de définir des nouveaux équilibres possibles entre itinéraires en Europe.
- et enfin des premières investigations sur des modèles de choix portuaire en Europe qui se heurtent de fait à des problèmes méthodologiques montrant combien ce champ d'investigation reste encore ouvert pour être traité globalement de manière satisfaisante.

## **Simulation de transport maritime à l'aide du modèle STAN**

L'espace est celui d'une Europe élargie incluant la zone méditerranéenne, et prenant en compte des points d'entrée dans la zone (points fictifs) pour les connecter avec les autres continents.

La vision du modèle de transport STAN présenté a été développée en Suède puis étendue progressivement à l'ensemble de l'Europe.

En Suède l'outil devient l'outil de référence pour la planification tous modes (Modèle SAMGODS, STAN n'étant que le nom du progiciel). L'extension européenne est aujourd'hui le fait de BMT, bureau d'études implanté aussi en Asie ce qui explique qu'il y ait maintenant ces deux versions : version EFM pour l'Europe et version APFM pour la relation Asie Europe.

Le modèle s'attache aux flux commerciaux (volume d'échanges) à l'échelle région x région. A partir des échanges pays x pays on déduit pour chaque pays une distribution régionale par grands types de produits (niveau NUTS II ou NUTS III si nécessaire).

La segmentation par type de produits n'est pas forcément fixée a priori : les données pays x pays offrant de ce point de vue beaucoup de possibilités et une distinction produit à haute et basse valeur ajoutée peut être utilisée.

Au niveau des modes, à noter une distinction entre types de camions (2 catégories avec 1 catégorie pour des camions dits régionaux) et une distinction entre trains conventionnels et trains combinés.

Pour le maritime l'attention est portée sur les lignes ferry pour les camions et les trains (ce qui dans la zone baltique constitue un enjeu important) ainsi que sur les services de conteneurs et de general cargo. Le transport aérien est intégré.

Au niveau des coûts à noter une distinction entre

- coût d'exploitation
- coûts d'attente et de retards
- autres coûts.

En sortie le modèle STAN détaille pour l'utilisateur les différents types de coûts pour les différentes solutions ainsi qu'un certain nombre d'éléments qui caractérisent la qualité du transport : risque de retard, valeur de temps pour les marchandises etc..

A ce stade il faut rappeler qu'en pratique le modèle n'est pas utilisé pour tester de nouvelles infrastructures terrestres (même s'il peut le faire) mais plutôt pour tester de nouvelles lignes ou services, voire pour tester de nouvelles solutions de transport pour une entreprise. Il y a un aspect application « managériale » qui explique cet accent mis sur les coûts et le travail fait sur tout un ensemble de fonctions de coûts, parfois calibré sur la base d'enquêtes de préférences déclarées.

Les résultats de l'intérêt d'un nouveau service et du trafic qu'il attire peuvent aussi être présentés sous forme de carte visualisant les origines et les destinations. Ceci étant le modèle européen n'est pas géocodé ce qui peut donner aux cartes un aspect un peu désuet : il n'en reste pas moins que le modèle issu d'une longue série d'application et développé avec une équipe d'universitaires suédois s'avère robuste et donne satisfaction.

Dans les applications on peut citer :

- l'application pour la Commission qui demeure confidentielle mais dont le but était l'exploration pour mieux apprécier l'intérêt du concept d'autoroute maritime en Europe.

Par autoroute maritime on entendait une fréquence d'au moins un départ par jour et un minimum de distance entre deux ports, pour ne pas multiplier le nombre de liaisons possibles : une cinquantaine de ports ont été liés entre eux (sans en révéler la liste tant la question du choix du port entre deux ports voisins est sensible). Deux types de bateaux ont été pris en référence pour les conteneurs (500 TEU) et le navire RoRo (1800 m de ligne) ; si en définitive le volume de demande transféré est assez élevé, il est rare que le service ait un taux de remplissage satisfaisant.

- Des études de lignes ferry dont les résultats du modèle se sont avérés satisfaisants une fois les observations faites après l'ouverture
- Des études de « road pricing » en Suède
- Des travaux sur les réseaux de transport de conteneurs.

## **2. Un modèle de partage modal pour les autoroutes maritimes**

Les autoroutes maritimes répondent à un nouveau concept de service préconisé par la Commission Européenne dans son Livre Blanc, il ne s'agit pas d'une adaptation des services de cabotage maritime mais plutôt d'un mode nouveau avec une fréquence élevée, une grande qualité de service susceptible de concurrencer la route en d'autres termes l'objectif est de substituer un maillon maritime à un maillon autoroutier dans une chaîne de transport routier porte à porte.

Dans la mesure où il s'agit d'un mode nouveau l'ajustement du modèle ne pourra se faire qu'à partir des résultats s'enquêtes de préférences déclarées.

Pour cette enquête un échantillon de transitaires a été sélectionné dans la mesure où les transitaires sont les acteurs les mieux placés pour connaître les réactions du marché.

Ces transitaires sont mis en situation de choix par rapport à plusieurs offres de transports sur des relations précises, grâce à une interface avec un ordinateur qui simule les conséquences des choix.

Pour chacune des solutions alternatives proposées des tests de sensibilité sont effectués pour les variables de vitesse et de coûts qui caractérisent l'offre.

Le réseau pris en référence est un réseau de la Méditerranée Occidentale où sont introduits différents services d'autoroute maritime.

La construction du modèle de choix d'itinéraire est exposée dans le détail avec les précautions à prendre pour obtenir des estimations de paramètres pertinentes parmi lesquels figurent aussi les paramètres de qualité.

Toutefois les résultats du modèle ne peuvent être déjà publiés sachant qu'il sera utilisé par la suite par le ministère des transports pour éclairer ses décisions dans le développement des autoroutes maritimes.

### **3- L'introduction des services maritimes dans les réseaux de transport**

Cette démarche de NESTEAR identifiée par Vesselin Siarov relève d'une logique différente, il s'agit d'introduire avec les réseaux de transport, les services maritimes et de faire une affectation des échanges entre les pays sur ces services maritimes.

Les informations disponibles se situent alors à deux niveaux

- Bases de données du commerce extérieur qui sont des bases pays x pays par type de produit : la base COMEXT pour les échanges des pays européens et la base COMTRADE de l'ONU pour les échanges entre pays tiers.
- Informations sur les services maritimes offerts entre les ports obtenus à partir de données sur l'exploitation des navires qui servent une succession de ports : ces données fournissent un indicateur de capacités offertes pour des dessertes entre ports et permettent d'ébaucher un réseau de dessertes maritimes par grandes catégories

de produits (vrac, général cargo, produits en conteneurs, ou dans des semi-remorques).

A partir de ces informations il est possible de faire une première affectation des flux d'échanges sur les réseaux maritimes pour un espace euro méditerranéen où la plupart des envois entre les pays se réalisent par mer. Le même travail peut être effectué entre pays européens lorsque l'information sur les échanges internationaux est disponible par mode ce qui est le cas pour la base COMEXT. Quoiqu'il en soit ces premières approches montrent toute l'importance des réseaux maritimes notamment dans les échanges entre l'Europe et les pays « voisins ».

Le traitement de séries chronologiques par types de produits permet aussi d'effectuer des projections de tendances des échanges qui montrent en particulier les changements de structure actuelle des échanges internationaux avec la montée en puissance de pays comme la Turquie, la CEI, en Méditerranée orientale.

L'ensemble de ses premiers échanges a été présenté à la Conférence de Kiev organisée par la CEMT sur le développement des échanges avec les pays de la CEI et de la Mer Noire, et ceux de la Méditerranée Orientale qui constituent (avec les pays de la Méditerranée occidentale) les nouveaux « voisins » de l'UE.

#### **4. Les indicateurs « contiguïté territoriale » pour l'analyse de la morphologie des réseaux**

Sur un autre registre qui est celui de l'ouverture de l'Europe en direction de la Turquie la question a été posée de l'identification d'un réseau nouveau sur le territoire turc pouvant ultérieurement constituer l'extension d'un réseau transeuropéen.

Pour ce pays il n'existe pas véritablement de base de données de trafic sur les échanges entre régions aussi bien pour les voyageurs que pour les marchandises.

L'approche proposée par Vesselin Siarov a alors été d'analyser en détails la morphologie des implantations de populations sur le territoire turc et d'essayer d'en déduire l'articulation d'un réseau de villes.

La Turquie est en effet un pays ancien qui dispose depuis longtemps d'une armature de villes et d'implantations d'habitations qui pouvaient alors servir pour définir un tel réseau de transport sans se référer, nécessairement, à des flux qui, en l'occurrence, ne sont pas connus.

Un indicateur de contiguïté entre zones habitées a été aussi défini montrant comment peut se structurer un réseau.

Cet indicateur est construit de la manière suivante en partant d'une répartition des populations sur le territoire turc inscrites dans des «rasters».

La technique est connue dans les méthodes SIG : un raster est un carré (en l'occurrence de 25 km de côté) géocodé au sein duquel il est possible d'estimer une densité de population (ou une population).

L'indicateur en question relie les rasters d'une densité supérieure à une valeur donnée (par exemple la moyenne nationale) lorsque la distance entre les rasters est inférieure à une valeur donnée (par exemple 50 à 100 km suivant que l'on souhaite des indicateurs de contiguïté plus ou moins lâches).

A partir de ce principe de base toutes sortes de déclinaisons peuvent être imaginées

- jeu sur la distance considérée
- jeu sur le niveau de desserte
- jeu sur la population concernée, située aux extrémités d'un segment ou bien à une distance donnée de chaque point du segment.

Bien entendu la notion de distance sur un réseau peut aussi être substituée à la notion de distance à « vol d'oiseau » si l'on veut aussi prendre en compte les données de la typologie qui fait que l'accessibilité entre deux zones habitées sera plus au moins facile.

En d'autres termes cette deuxième approche présentée est, elle aussi, exploratoire et consiste à montrer que les seules données d'un espace géographique avec des données physiques et des implantations de populations (les bases de données d'implantation de populations sont en général assez facilement disponibles) recèle déjà pour une analyse des besoins de transport, et des densités de trafic sur un réseau, un ensemble important d'information, directement exploitable sans référence explicite à des flux locaux ou interrégionaux.

## **5 Le modèle MARS sur l'évaluation des autoroutes de la mer**

Le modèle MARS est un modèle d'affectation sur des itinéraires maritimes (Maritime Assignment Routes Simulation) qui inclut les acheminements terrestres portuaires.

La construction du modèle MARS de NESTEAR suppose en réalité de considérer l'ensemble des itinéraires point à point, qu'ils comportent un

maillon maritime ou non afin de pouvoir comparer les performances entre itinéraires.

En d'autres termes MARS s'applique à l'ensemble d'un réseau intermodal, qui inclut des maillons terrestres (des modes routiers ferroviaires et voie d'eau) auxquels ont été ajoutés des maillons maritimes et des points nodaux portuaires, points d'échanges entre modes ; en ce sens MARS est une extension de modèles d'affectation antérieurs se concentrant sur les modes et combinaisons terrestres et se présente, pour les applications maritimes, comme un outil alternatif à STAN, exposé précédemment.

Dans son principe le modèle MARS s'inscrit directement dans la tendance actuelle qui consiste à regrouper en une seule étape, les étapes de répartition modale et d'affectation sur réseau de modèle classique en 4 étapes (cf. conclusion des séminaires antérieurs) : le choix de chemins minimaux porte à porte, pour un grand nombre d'itinéraires considérés permet de déduire « a posteriori » une répartition modale et surtout une répartition entre différentes combinaisons de modes qui constituent les chaînes de transport.

La multiplication des combinaisons possibles de modes ne pose pas véritablement un problème pour l'application de MARS, dans la mesure où chaque attribut du réseau intermodal est bien « renseigné » alors que cela ne sera pas le cas pour un modèle de partage modal.

En amont, bien entendu, le modèle MARS suppose l'utilisation d'une matrice de flux origine destination (laquelle sera désagrégée en matrice point à point à l'intérieur de zones en fonction de différents critères caractérisant la zone) : cette matrice est obtenue soit par l'intermédiaire d'enquêtes (exemple enquête aux frontières de 93/94, 99/2000 et maintenant 2004 / 2005) ou bien est estimée à l'aide d'un modèle économique (modèle gravitaire, input / output) développé au niveau d'échanges entre pays ou régions (estimation directe de flux interrégionaux ou désagrégation régionale de flux nationaux comme dans STAN).

Il n'est alors pas étonnant que le modèle MARS ait d'abord été appliqué à des marchés intermodaux bien particuliers que sont en particulier le marché des autoroutes maritimes pour la zone Atlantique et la Manche ainsi que pour la Méditerranée occidentale.

Ceci étant le modèle MARS peut être aussi appliqué à des espaces plus larges comme l'espace Euro Méditerranéen incluant la Mer Noire, voire l'espace Euro Asiatique : dans la recherche MEDA TEN T et le travail effectué pour le ministère des transports sur les relations Euro – Asiatiques des premiers travaux exploratoires ont été faits dans ce sens montrant ces

possibilités d'application sans que le travail atteigne nécessairement des proportions considérables.

Cette version du modèle avait été développée dans le cadre de projets de recherche européens et nationaux.

- travaux du CESA (Centre d'Etudes européennes et d'Aménagement de Tours) pour le SDEC (Schéma de développement de l'Espace communautaire de 98 – à 2000)
- travaux de recherche européens ESPON (ou ORATE en français 2003 – 2005) sur les SIG en Europe (en liaison avec EUROSTAT)
- projet de recherche INTEGRATION du 4<sup>ème</sup> PCRD où d'ailleurs les versions préliminaires de MARS et STAN ont été appliquées et mis au point.

Dans l'exposé sur MODEM les applications aux autoroutes maritimes de l'Atlantique et de la Méditerranée ont été privilégiées suite à deux études réalisées :

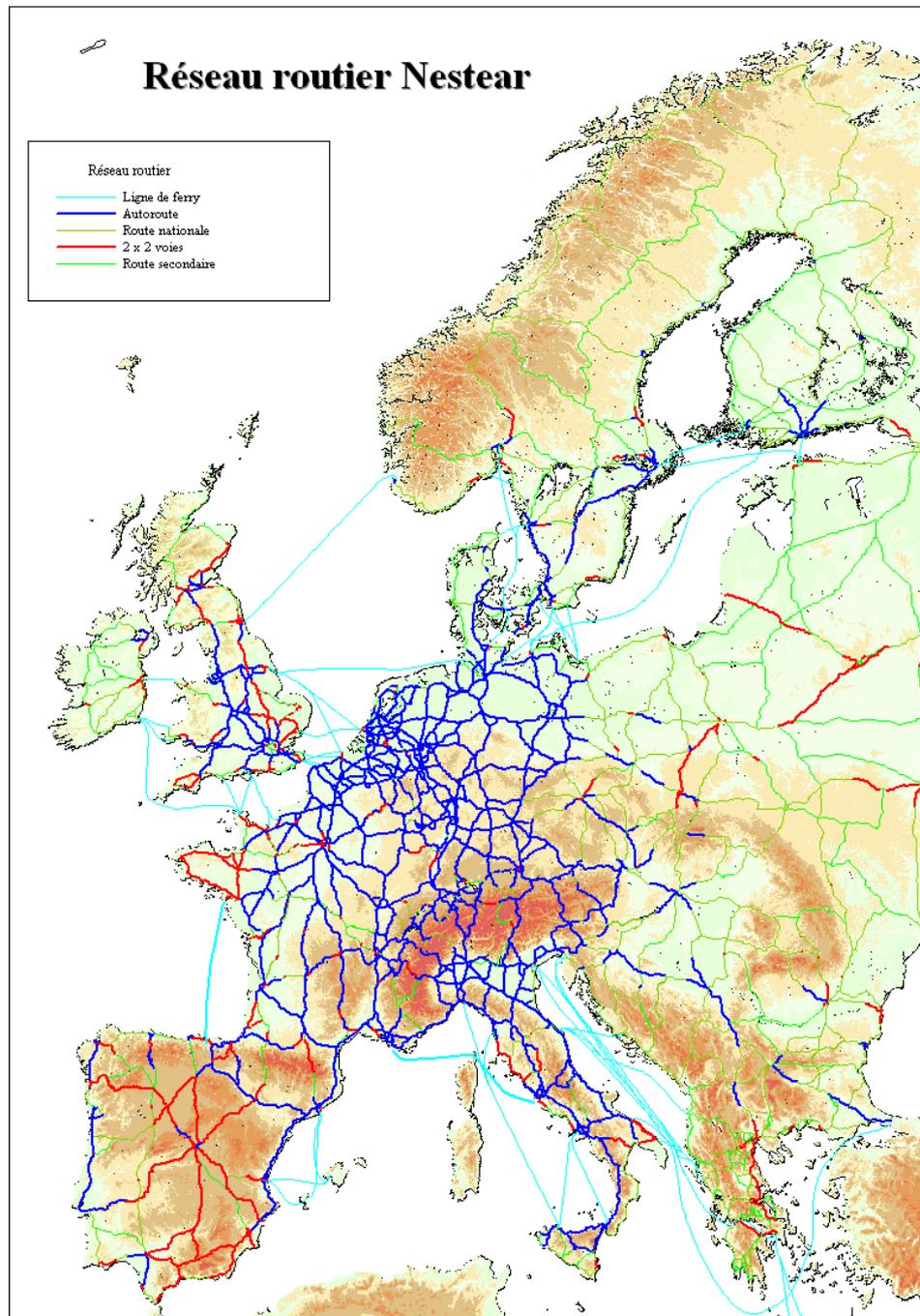
- une étude pour la DPMTL sur les autoroutes maritimes les plus pertinentes concernant le transport international français (y compris transit).
- une étude réalisée par l'ACEL sur une autoroute maritime Nantes Bilbao.

Le schéma ci-joint résume la structure du modèle MARS appliqué pour 3,5 millions d'itinéraires en Europe sur un réseau comportant 1800 points et 2700 sections.

#### **Un réseau : 1 800 points - 2 700 sections**

Une section est décrite selon le type d'infrastructure, une longueur, une vitesse pour les PL.

Un point est un carrefour du réseau, une ville.



Pour les analyses réalisées dans la 2<sup>ème</sup> étude susmentionnée, les données de l'enquête aux frontières (données régions x régions) ont été utilisées.

Dans ces deux cas la performance des itinéraires routiers est appréciée en fonction de données de temps (y compris cycle de temps de repos / temps

de conduite) et du coût : un modèle de coût de temps routier est introduit dans le modèle en utilisant le trinôme du CNR (coût kilométrique, coût horaire, coût journalier).

Ainsi pour chaque relation, point à point l'ensemble des informations suivantes a été collecté :

Pour l'itinéraire tout route :

- Le temps de conduite,
- Le temps total,
- La longueur,
- Le coût.

Pour l'itinéraire via le maritime :

- Le temps de conduite du post et pré acheminement routier,
- Le temps total du post et pré acheminement routier,
- La longueur du post et pré acheminement routier,
- Le coût du post et pré acheminement routier,
- Le temps de trajet port à port, trajet maritime + opérations de transbordement
- Le coût port à port, trajet maritime + opérations de transbordement

Dans le cas de l'étude « Autoroute maritime Nantes Bilbao » (Une étude AMT Autoroute Maritime Transgascogne) de nombreux tests ont été effectués en fonction des vitesses sur autoroutes, des hypothèses de temps de repos, des modalités d'exploitation routière / transport accompagné ou non, concurrence avec une organisation en relais ou non / ainsi bien entendu que différentes hypothèses de fréquence maritime et surtout de « tarif » maritime (le tarif maritime est considéré port à port en incluant le coût de transit portuaire). Les données maritimes ont été produites par le bureau MENSIA, en vue d'hypothèses de volume de trafic.

D'entrée de jeu, comme pour l'étude espagnole de la Fondation du port de valence, l'offre d'autoroute maritime est considérée comme un nouveau type d'offre avec :

- fréquence élevée
- coût de transit et temps de transit bien inférieurs aux coûts et temps observés pour le service de cabotage traditionnel
- modalités administratives et tarification simplifiée

Afin de se situer dans l'optique du nouveau concept développé par la Commission Européenne, cherchant de nouveaux seuils d'équilibre entre fréquence, prix et volume de transport : en d'autres termes il s'agit aussi de savoir à quelle condition la qualité de service d'autoroute maritime commence à attirer un volume suffisant de trafic routier justifiant en retour la fréquence et les conditions d'exploitations ? Est ce que ce cercle vertueux

est possible ou non ? Quelles sont les conditions nécessaires au niveau de l'organisation du transport ?

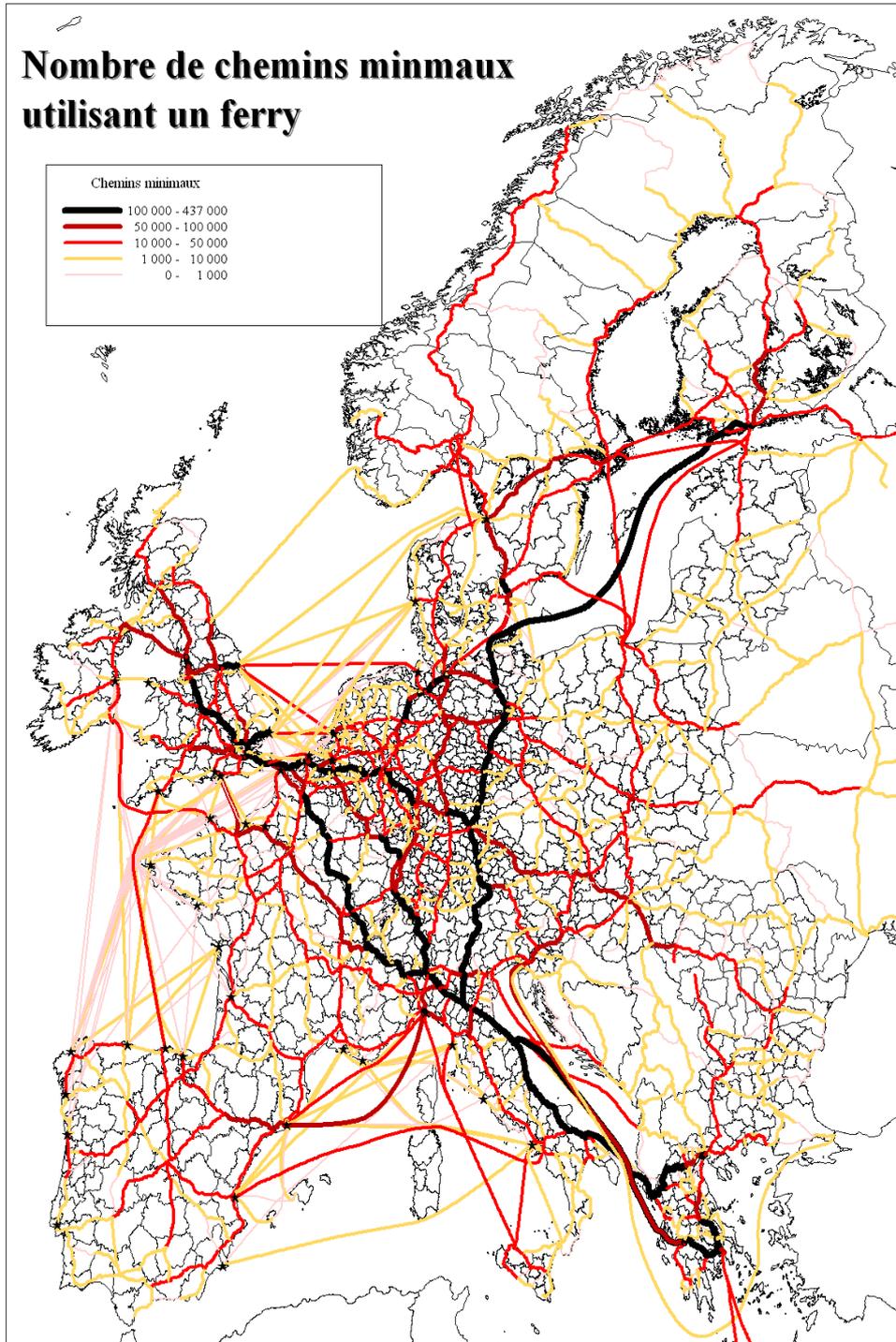
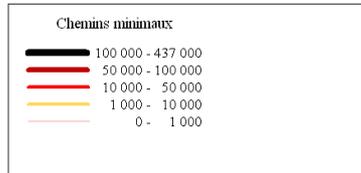
Cette étude s'est développée en relation non seulement avec les experts maritimes (étude MENSIA) mais aussi des acteurs du monde du transport français et espagnol, avec notamment des enquêtes en Espagne et des contacts avec les organisations des transporteurs routiers espagnols qui ont une position dominante sur le marché.

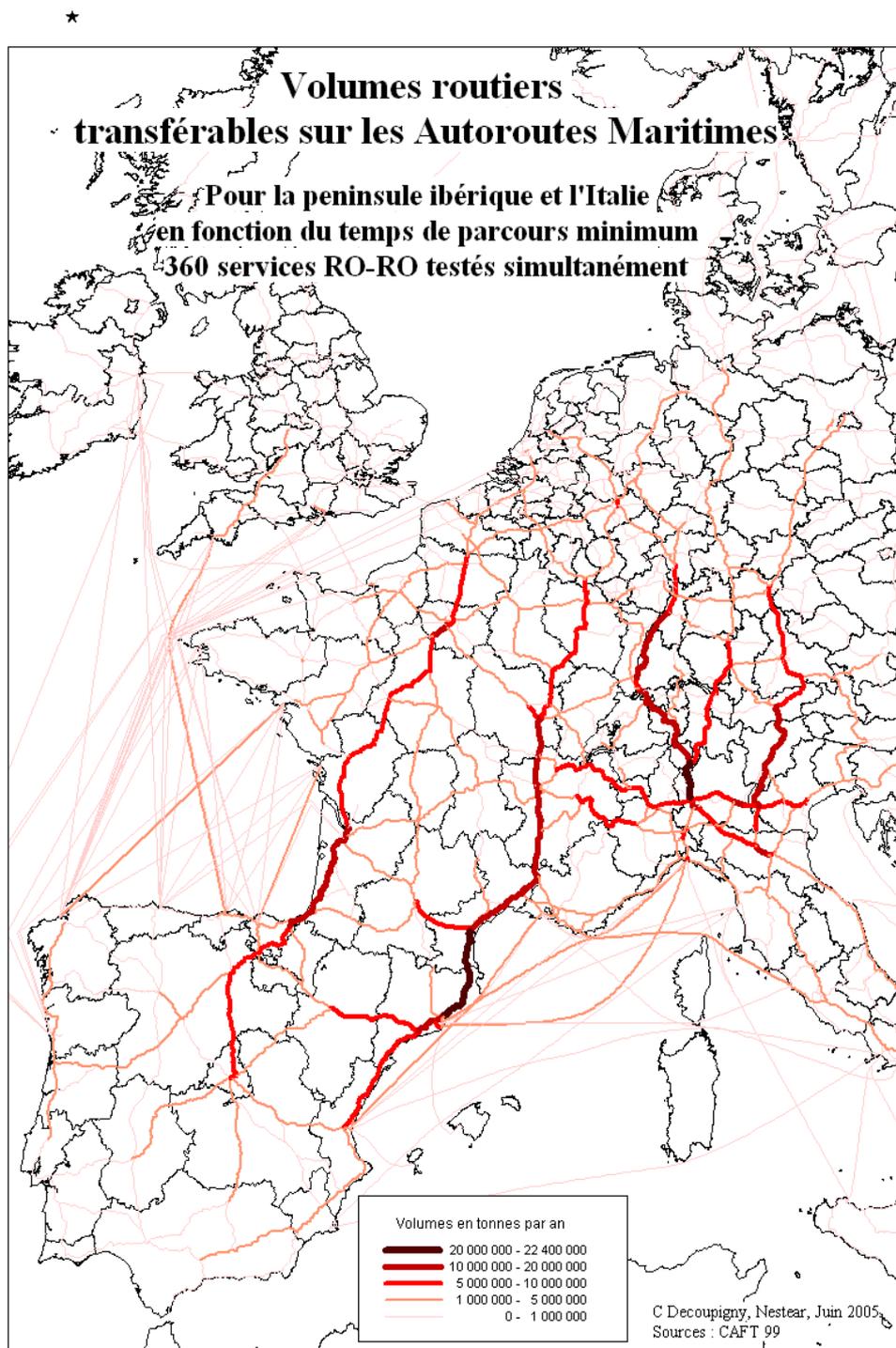
Les principaux résultats de l'étude ont été repris dans un article de la revue du CNR repris en annexe.

Dans le cas de l'étude pour la DPMTL il s'agissait d'identifier les autoroutes maritimes les plus pertinentes.

Pour ce faire des hypothèses de qualité de service comparable (fréquence, vitesse, coût de transit portuaire...) ont été faites pour tester simultanément 360 services nouveaux ou existants.

## Nombre de chemins minmaux utilisant un ferry





Très vite deux résultats importants sont apparus dans l'analyse.

- la nécessité de distinguer les relations à courte distance (de type façade Atlantique française, côte du Nord ouest espagnol), des

relations à longue distances qui répondent à des arbitrages coûts / temps de transport très différents.

- les risques du « cannibalisme » entre services d'autoroutes maritime, aussi bien pour les relations à courte distance, qu'à longue distance, voire également les risques de cannibalisme entre relation à courte distance et longue distance.

Ces deux remarques mettent bien entendu l'accent sur la nécessité de faire des choix entre les relations, sujet d'autant plus délicat que les résultats obtenus se sont avérés très sensibles aux hypothèses retenues (hypothèses relatives aussi bien à l'exploitation routière qu'à l'exploitation maritime).

En conclusion bien des opportunités mais des opportunités assorties de conditions d'exploitation, de coopération entre opérateurs de transport ou entre ports et organismes publics qui rendent ce « concept » d'application relativement complexe et expliquent qu'après une phase « d'engouement » mal explicitée, ils sont souvent trop vite considérés comme « dépassés » ; des exemple de services maritimes qualifiés « d'autoroutes maritimes » ne correspondent pas véritablement à ce concept. Même s'ils peuvent bénéficier des soutiens des financements Marco Polo pour les modes alternatifs.

Un dernier point sur le modèle MARS concerne les potentialités que recèle une telle modélisation des réseaux pour l'évaluation environnementale d'une politique ou d'un projet.

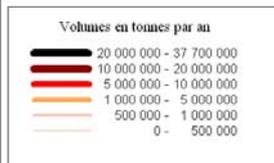
Dans la mesure où l'affectation des trafics sur réseau se fait à partir d'un SIG et de données géocodées il est alors possible de mesurer de manière précise les lieux d'émissions de pollution dans un espace donné :

- lieux d'émissions en un point précis du réseau
- positionnement de ce point du réseau dans son contexte géographique et territorial : profil et caractéristiques du réseau qui peuvent avoir une influence sur les émissions elles-mêmes, et caractère sensible ou non de la zone traversée qui peut jouer comme facteur aggravant.

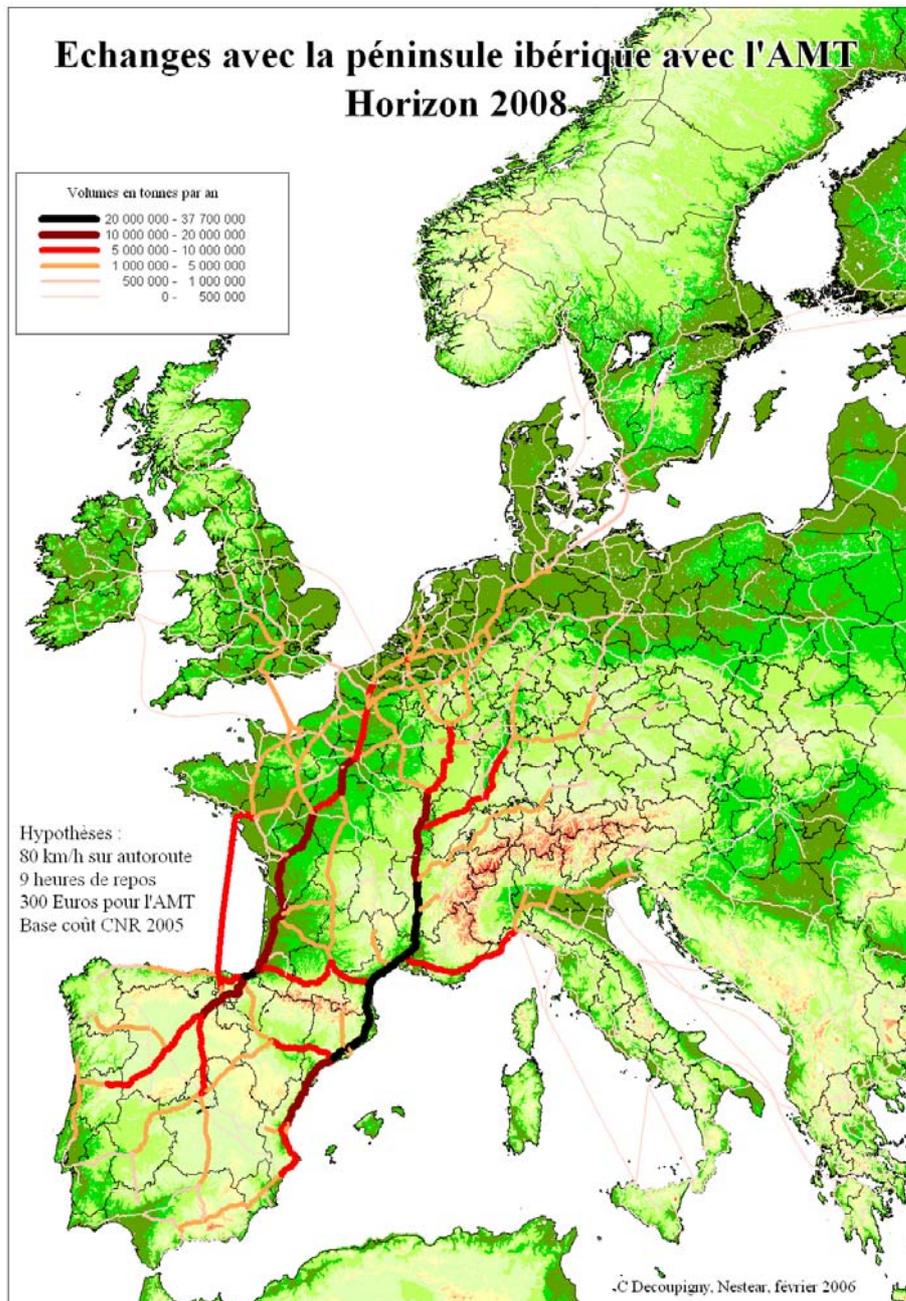
D'où la possibilité d'une mesure plus précise d'impact environnemental, possibilité d'un « bilan territorial » de l'impact environnemental (régions gagnantes ou perdantes), une différence entre impact local et global, autour d'éléments très appréciés dans les débats publics, qu'il est maintenant possible de traiter plutôt que d'ignorer ou esquiver .

Pour illustrer ces possibilités, on peut prendre l'exemple de l'évolution de l'AMT.

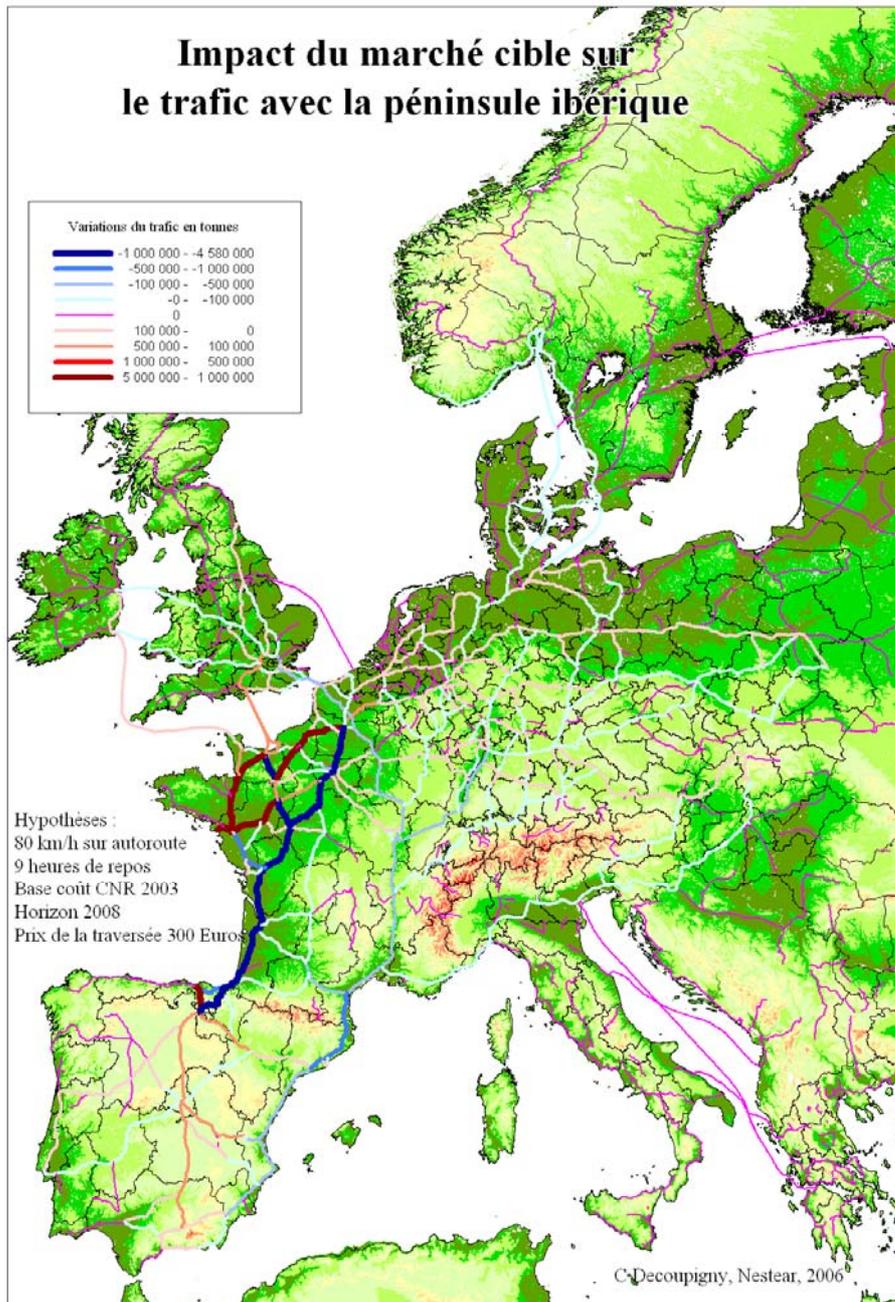
## Echanges avec la péninsule ibérique avec l'AMT Horizon 2008



Hypothèses :  
80 km/h sur autoroute  
9 heures de repos  
300 Euros pour l'AMT  
Base coût CNR 2005



## Impact du marché cible sur le trafic avec la péninsule ibérique



## Impact de l'AMT sur la pollution liée aux échanges routiers avec la péninsule ibérique

