Sapienza Università di Roma – Université Lumière Lyon 2

La rationalisation des flux de marchandises à travers les terminaux intermodaux

Thèse en cotutelle pour l'obtention d'un

Dottorato in Infrastrutture e Trasporti (XXIII ciclo)

Et d'un

Doctorat de Sciences Économiques et de Gestion
Mention Économie des Transports

Présentée et soutenue publiquement par

FEDERICO ANTONIAZZI

Le 25 Novembre 2011

Directeurs de thèse : Alain BONNAFOUS et Antonio MUSSO

Membres du jury :

M. Alain Bonnafous, Professeur Emérite de l'Université Lumière-Lyon 2, directeur de thèse
M. Antoine Frémont, Directeur de recherche à l'INRETS, rapporteur
M. Gabriele Malavasi, Professeur à la Sapienza Université de Rome
M. Antonio Musso, Professeur à la Sapienza Université de Rome, directeur de thèse
M. Michel Savy, Professeur à l'Université Paris Est, rapporteur
M. Stafano Ricci, Professeur à la Sapienza Université de Rome

Résumé

La rationalisation des flux de marchandises à travers les terminaux intermodaux

La promotion du transport ferroviaire de marchandises permet d'améliorer l'impact environnemental du transport de marchandises, à travers la réduction de la part modale de la route, qui est responsable d'environ un quart des émissions européennes de CO2. L'objet de cette thèse est d'analyser les flux de marchandises afin de proposer des solutions opérationnelles qui permettraient d'augmenter la part de marché du transport de fret ferroviaire, notamment grâce à une meilleure utilisation des terminaux intermodaux. La première partie de la thèse fournit une synthèse des principales modèles théoriques concernant l'analyse de la demande et de l'offre de transport de marchandises, afin d'analyser le lien entre activité économique et transport de marchandises. Une analyse détaillée des sources statistiques disponibles au niveau européen, national et régional, est aussi fournie. Dans la deuxième partie, une application au cas des chantiers de transbordement rail-route en France est présentée, et une comparaison avec d'autres pays européens est réalisée. L'objectif de cette analyse est d'estimer la demande potentielle de transport combiné, d'évaluer la productivité des terminaux intermodaux et d'étudier l'impact socio-économique et financier des investissements dans les terminaux intermodaux, en évaluant également la possibilité des nouveaux montages financiers (PPP). Les résultats de l'analyse montrent un large potentiel pour le transport combiné, en particulier en lien avec l'activité des ports maritimes, et une productivité faible dans les terminaux existants. En conséquence, cette analyse suggèrerait de concentrer les investissements sur un nombre limité de sites à haut potentiel, afin d'attirer des investissements privés et optimiser l'utilisation des fonds publics. Les implications politiques de cette analyse sont multiples : elles concernent d'abord le gestionnaire d'infrastructure et les opérateurs ferroviaires, qui doivent mieux planifier les investissements en fonction de la demande commerciale. Elles concernent aussi l'Etat et les collectivités locales, qui doivent optimiser l'utilisation des fonds publics en favorisant les localisations à haut potentiel.

Mots clés: terminal intermodal, transport combiné, fret ferroviaire, analyse des investissements, évaluation socio-économique.

Abstract

Freight transport flows through intermodal terminals

The promotion of railway modal share has large benefits on the environment by reducing the modal share of road transport, which is responsible for about one-fourth of European CO2 emissions. The aim of this dissertation is to analyse freight transport flows in order to provide operational solutions to increase the modal share of railways transport through a better use of intermodal terminals. In the first part of the dissertation a theoretical survey of freight transport models is provided, in order to show the linkage between freight transport and economic activities. A comprehensive analysis of data sources at European, national and regional levels is also provided. In the second part of the dissertation an application to the case of railway intermodal terminals in France is provided, with some comparisons to other European countries. The scope of the analysis is to estimate the potential demand of combined transport, to assess the productivity of intermodal terminals and to evaluate the socio-economic and financial impact of new investments in terminals, also through new project financing schemes (PPPs). The results show a large potential for railway intermodal transport, especially in connection with maritime ports, and low productivity in existing terminals. As a consequence it's fundamental to concentrate new investments in a few high potential locations, in order to attract private investments and to provide a better use of public funds. The policy implications of this analysis are multiple: it concerns first the railway companies and the infrastructure managers, which should better plan their investments according to commercial needs. It concerns also governments and regional authorities which should better concentrate public funds on optimal terminal locations.

Keywords: intermodal terminals, combined transport, freight railway transport, investment appraisal, socio-economic evaluation.

Table des matières

Introduction générale 9
1 Les modèles de prévision de la demande de transport de marchandises : les différentes approches possibles 13
1.1 Introduction 13
1.2 Le modèle à quatre étapes dans le cas du transport de marchandises 14
1.3 Les modèles économétriques 15
1.4 Le modèle Multi Regional Input Output (MRIO) 16
1.4.1 La régionalisation des tableaux entrées-sorties (TES) 17
1.4.2 L'estimation des échanges entre les zones 19
1.4.3 La transformation des valeurs monétaires en quantités physiques 19
1.5 Les MEGC dans leur version spatiale 21
1.6 Une analyse rétrospective de quelques modèles existants 23
1.7 Les avantages et les champs d'application 24
1.7.1 L'identification des filières logistiques 24
1.7.2 La définition d'un modèle de choix modal logistique 25
1.7.3 L'évaluation des politiques dans le domaine du transport 27
1.8 Conclusion 28
2 Les modèles de choix modal, d'affectation et la modélisation du réseau pour le transport intermodal de marchandises 29
2.1 Introduction 29
2.2 L'intégration du coût total logistique dans les modèles pour le transport de marchandises 29
2.2.1 Le coût total logistique et le choix du mode de transport 30
2.2.2 Le coût total logistique et la configuration du réseau de transport 31
2.2.3 Une méthode pour désagréger des flux zone à zone en flux établissement à établissement 34
2.3 Les modèles d'affectation multimodale et la modélisation du réseau pour le transport intermodal de marchandises 35
2.3.1 Les modèles d'affectation multimodale et multi produits 36
2.3.2 Le modèle de localisation optimale dans sa version de base 38
2.3.3 Le modèle de localisation optimale avec économies d'échelle 39
2.4 Conclusion 42
3 Les bases de données pour l'analyse du transport intermodal de marchandises 43
3.1 Introduction 43
3.2 Les bases des données d'Eurostat 43
3.2.1 Les tableaux entrées-sorties 43
3.2.2 Comext 46
3.3 La base des données SitraM 47
3.3.1 Correspondance NACE Rev.2 - NSTR 48
3.3.2 La relation entre activité économique et transport 50
3.4 Les bases des données relatives au transport ferroviaire 51
3.4.1 L'application Réseau 52
3.4.2 L'analyse des sillons fret 54
3.5 Les enquêtes Transit et ECHO 55
3.5.1 L'enquête Transit 56
3.5.2 L'enquête ECHO 57
3.6 Conclusion 58

4 La gestion des chantiers de transbordement rail-route en France : une problématique de rationalisation et de gouvernance 59
4.1 Introduction 59
4.2 Le transport combiné rail-route en France 61
4.3 Les acteurs du système de transport combiné rail-route et les enjeux de l'ouverture à la concurrence 63
4.4 La comparaison internationale 66
4.4.1 L'Allemagne 67
4.4.2 L'Italie 68
4.4.3 La Suisse 68
4.5 La localisation des chantiers de transbordement en France 70
4.5.1 Les trafics potentiels de transport combiné rail-route à l'échelle nationale 71
4.5.2 La prise en compte des trafics internationaux 73
4.6 L'analyse des résultats obtenus 75
4.7 Conclusion 77
5 L'estimation de la capacité et de la productivité des chantiers de transbordement 79
5.1 Introduction 79
5.2 La définition de la capacité 79
5.3 Le principe de fonctionnement d'un chantier de transbordement 80
5.4 La formulation de la capacité proposée par l'EIA 81
5.4.1 La capacité des voies de chargement/déchargement (quais) 81
5.4.2 La capacité des équipements 81
5.5 La prise en compte de la capacité de stockage 82
5.6 La formulation de la capacité selon la procédure opérationnelle de RFI 83
5.6.1 Le faisceau de réception 83
5.6.2 La voie de service 84
5.6.3 Le chantier de transbordement 84
5.6.4 Le faisceau de triage (éventuel) 84
5.6.5 Le faisceau d'attente au départ 85
5.7 Une formulation globale de la capacité des chantiers de transbordement 85
5.8 L'estimation de la productivité 87
5.8.1 La fonction de production des chantiers de transbordement 88
5.8.2 Analyse de la productivité des chantiers de transbordement 89
5.9 Conclusions 90
6 L'analyse économique et financière du transport combiné 91
6.1 Introduction 91
6.2 L'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises 91
6.3 L'analyse des flux financiers dans le cas du transport combiné 101
6.3.1 Le gestionnaire d'infrastructure 102
6.3.2 L'opérateur ferroviaire 104
6.3.3 L'opérateur de transport combiné 104
6.3.4 Bilan global et considérations 106
6.4 L'analyse financière des nouveaux investissements 106
6.5 L'analyse des politiques publiques dans le cas du transport combiné rail-route 110
6.5.1 Les aides publiques au transport combiné en France 110
6.5.2 Evaluation financière du volet transport combiné des CPER 2007-2013 113
6.6 Conclusion 116
7 Le financement des terminaux intermodaux et les partenariats public-privé 119
7.1 Introduction 119
7.2 L'exemple des financements dans les terminaux à conteneurs maritimes 119

7.3 Les financements de l'Union Européenne 124
7.3.1 Les prêts de la Banque Européenne d'Investissement dans le secteur des infrastructures de transport 124
7.3.2 Les fonds européen de développement régional 129
7.4 Le recours à la finance de projet à travers les partenariats public-privé 132
7.5 Conclusion 134
Conclusion générale 137
Bibliographie 139
Indice des figures, des tableaux et des encadrés 147

Introduction générale

La crise économique et financière survenue à partir de la fin de l'année 2008[1] a-t-elle radicalement changé les perspectives d'évolution du transport de marchandises en Europe et dans le monde ? Pour répondre à cette question, il faut tout d'abord se placer dans une perspective de long terme, ce qui est requis d'ailleurs dans le cadre d'une thèse de doctorat. L'évolution du transport de marchandises en Europe sur le trente dernières années s'est caractérisée par une double tendance : d'une part une augmentation constante et progressive des tonnes-kilomètres transportées, et, d'autre part, une diminution constante et progressive de la part modale pour les modes de transport autres que la route, en particulier le transport ferroviaire de marchandises. Or, tout le monde s'accorde à soutenir la thèse selon laquelle la croissance des échanges et en conséquence du transport de marchandises représente une conséquence inévitable de la croissance économique, soutenue par un effet de couplage entre ces deux variables, probablement à cause de l'émergence de nouveaux modes d'organisation de la production industrielle[2]. Cette thèse semble d'ailleurs avoir été confirmée par la crise économique de 2008, qui a entraîné une chute du commerce mondiale et du transport de marchandises. Face à ce constat, la question suivante se pose : comment favoriser les modes de transport plus favorables à l'environnement sans pour autant peser sur la croissance économique de façon négative ? C'était la question qui était posée dans le Livre Blanc de la Commission Européenne de 2001[3] et qui, jusqu'à maintenant n'a pas trouvé de réponses efficaces.

Il serait sans doute excessivement ambitieux de vouloir proposer une solution unique et valable pour répondre à cette question alors que les efforts entrepris en termes de rééquilibrage modal ont été considérables tant sur le plan financier que politique[4]. En même temps la politique européenne des transports et les politiques nationales et régionales ont souvent été contradictoires vis-à-vis des objectifs poursuivis, tel a été le cas par exemple de la directive Eurovignette[5].

[1] Même si certains effets étaient prévisibles déjà à partir de l'été 2007, en particulier la chute des échanges interbancaires.
[2] Voir à nouveau le chapitre III et en particulier Joignaux, Verny : « Transport de marchandises et croissance : la problématique du couplage / découplage » Reflets et Perspectives, XLIII, 2004/4.
[3] CE, « La politique européenne des transports à l'horizon 2010: l'heure des choix », Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, 2001, ISBN 92-894-0342-X
[4] Par exemple à travers le programme Marco Polo de l'Union européenne.
[5] Directive sur la taxation des poids lourds sur certains axes. Egalement on pourrait citer le cas de la taxe carbone en France et la défiscalisation de la TIPP en Italie.

L'objectif de cette thèse n'est pas d'analyser la politique des transports de marchandises en Europe dans son ensemble mais de proposer une solution efficace vis-à-vis d'une problématique spécifique, celle des terminaux intermodaux, qui pourrait apparaître à première vue secondaire alors qu'elle relève d'une importance stratégique dans le cadre d'une politique de rééquilibrage modal. Les terminaux intermodaux sont des installations fixes qui permettent le transbordement de marchandises d'un mode de transport à l'autre[6], par exemple de la route vers le rail ou encore du rail vers la mer, par le biais d'unités de transport standardisées (conteneurs, caisses mobiles, etc.). Un certain consensus s'est réalisé depuis longtemps[7] sur l'efficacité et l'opportunité de développer le transport combiné alors que cette modalité de transport demeure toujours minoritaire en Europe[8], ce qui n'est pas le cas dans d'autres pays (Etats-Unis, Australie, Canada, etc.). Pourtant les questions relatives aux terminaux intermodaux ont été souvent marginalisées et écartées du débat[9], en particulier dans le cadre de l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises[10]. Il est aussi notable que c'est dans le domaine des terminaux tous modes confondus que la législation européenne a eu le plus de mal à s'imposer ou reste toujours déficitaire: gares ferroviaires pour les voyageurs et les marchandises, ports maritimes, services aéroportuaires.

En même temps, la littérature scientifique dans le domaine reste très fragmentée sur des aspects à la fois trop techniques (optimisation de la capacité, localisation optimale, etc.) ou au contraire trop généraux (le transport intermodal en général[11]), sans fournir une vision d'ensemble des problématiques spécifiques relatives aux terminaux intermodaux. L'objectif poursuivi est en conséquence celui de fournir une vision claire de la problématique relative à la rationalisation des flux de marchandises à travers les terminaux intermodaux, à partir du point de vue du gestionnaire de l'infrastructure, qui possède ses propres terminaux intermodaux.

---

[6] Une définition plus exacte est fournie par UN/ECE Economic Commission for Europe, Terminologie en Transports combinés, United Nations. New York and Geneva, 2001.

[7] Une des premières directives de la CE dans ce domaine date de 1975 (75/130/CEE).

[8] Voir le chapitre IV pour des données plus précises sur la France et les principaux pays européens.

[9] Il y a peu d'éléments objectifs pour soutenir cette thèse dont la justification relève plutôt de l'expérience professionnelle acquise dans le domaine. Cependant, il suffit de réfléchir à cet aspect : alors que la Commission européenne a produit un nombre impressionnant de documents dans plusieurs domaines, il n'existe pas à ma connaissance et à ce jour une politique cohérente dans le domaine des terminaux intermodaux car ils relèvent pour l'instant de différents domaines spécifiques selon la modalité de transport concernée.

[10] A ce propos, les terminaux intermodaux sont souvent cités comme *essential facility* dans le cadre du droit de la concurrence.

[11] En particulier les programmes de recherche de l'UE qui concernent le transport intermodal de marchandises.

Le chapitre I analyse la problématique de l'estimation de la demande de transport de marchandises, en particulier à travers la modélisation macroéconomique, afin de fournir un cadre à la fois synthétique et général de méthodes existantes pour l'estimation de la demande de transport de marchandises. Le chapitre II complète cette analyse en se concentrant sur les modèles plus spécifiques au cas du transport intermodal de marchandises : modèles de choix modal, d'affectation et de localisation optimale des terminaux sur le réseau. Le chapitre III affronte un problème jugé fondamental : la disponibilité de sources statistiques et de bases de données pour analyser le transport intermodal de marchandises est souvent insuffisante. Ce chapitre clôt une première partie théorique relative à la problématique de l'estimation de la demande de transport intermodal de marchandises.

Le chapitre IV introduit le sujet clé, celui de la rationalisation du nombre et de la localisation des terminaux intermodaux en France et de leur gouvernance en s'inspirant des exemples dans d'autres pays européens. Le chapitre V complète cette analyse à travers une revue des méthodes d'estimation de la capacité et de la productivité des terminaux intermodaux, toujours appliquées au cas des terminaux français et des pays voisins. Le chapitre VI introduit le problème de l'analyse économique et financière au cas du transport intermodal de marchandises, alors que le chapitre VII analyse les sources de financement disponibles au niveau européen et national, y compris le montage des partenariats public-privé.

Le contexte d'élaboration de cette thèse a été opérationnel, ce qui signifie qu'un des objectifs principaux était d'apporter de réponses concrètes à la problématique examinée. Certains aspects théoriques ont donc été marginalisés, d'autres ont été rappelés dans des encadrés.

1 Les modèles de prévision de la demande de transport de marchandises : les différentes approches possibles

1.1 Introduction

L'analyse de l'état de l'art au niveau international concernant la prévision de la demande de transport de marchandises met en évidence deux problématiques principales :

- La complexité de la problématique, causée aussi par la rapide évolution des phénomènes dans le monde réel ;
- L'absence d'une approche interdisciplinaire entre la modélisation des systèmes de transport et l'économie dans sa composante spatiale ou régionale.

De manière très doctrinaire, l'analyse du transport de marchandises est souvent comparée à celle du transport de voyageurs, dont on maîtrise mieux les techniques de prévision, dans le but d'analyser les principales différences qui rendent plus complexe sa modélisation :

- La très grande variété de cas, à cause de l'hétérogénéité des produits transportés et des conditions de transport ;
- Face à cette grande variété de situations, les données et les estimations disponibles demeurent insuffisantes pour pouvoir définir, caler et appliquer un modèle d'estimation et de prévision assez efficient et efficace ;
- Concernant l'approche basée sur la théorie du choix discret et de manière plus générale basée sur la théorie néoclassique de l'utilité, le transport de marchandises possède deux aspects caractéristiques qui en rendent plus complexe sa modélisation :
    - Le décideur ne correspond pas à l'objet transporté comme dans le cas du transport de voyageurs ;
    - Le décideur n'est pas unique et la décision des paramètres de choix dérive d'une interaction multi-agent basée souvent sur des contrats dont les termes restent confidentiels.

Par ailleurs l'évolution rapide du secteur dans les dernières années, causée aussi par la politique de libéralisation dans les transports et dans le commerce international, conduit à une complexité croissante de l'analyse, étant donné que les données et les estimations disponibles, déjà faibles, sont rapidement surannées.

Le deuxième aspect à retenir concerne la nécessité de liens entre les deux disciplines qui s'occupent de l'analyse du transport de marchandises : la modélisation des systèmes de transport et l'économie spatiale.

Il est assez évident que dans chacun des deux champs, certains aspects de l'analyse sont privilégiés au détriment des autres : de cette façon l'analyse reste très sectorielle et souvent moins fiable, en l'absence d'approche globale.

L'exemple est fourni d'un côté par les modèles d'équilibre général calculable (MEGC) qui prennent en compte la composante spatiale de manière très simplifiée, ou de l'autre côté par l'approche économétrique dans la plupart des modèles de prévision de transport basée souvent sur une simple relation d'élasticité entre données macroéconomiques et variables de transport.

De toute évidence les deux aspects sont à retenir[12], par conséquent un effort devrait être fait en améliorant la modélisation du transport de marchandises plutôt grâce à l'utilisation d'une approche globale que par une spécification excessive des modèles existants.

1.2 Le modèle à quatre étapes dans le cas du transport de marchandises

Le modèle à quatre étapes représente la référence dans le cas de la prévision de la demande de transport de voyageurs.

Il est appliqué aussi au cas du transport de marchandises à travers une spécification qui prend en compte les différences entre les deux phénomènes :

- La phase de génération estime la demande de transport à travers une approche économétrique, qui fournit le lien entre les variables socio-économiques de la zone d'étude et les variables transport ;
- La phase de distribution estime la distribution de la demande entre les différentes zones de l'aire d'étude, notamment à travers des modèles du type gravitaire, qui utilisent comme fonction d'impédance la distance ou le coût du transport ;
- La phase de choix modal estime la probabilité de choix du mode de transport selon les caractéristiques de la marchandise et des différents modes de transport disponibles, notamment à travers des modèles du type logit emboîté (en anglais *nested logit*), qui prennent en compte les différents modes de transport et leurs possibles combinaisons ;
- La phase d'affectation permet d'estimer les flux de marchandises sur le réseau de transport, notamment à travers des algorithmes d'affectation multi-flux/multi-

[12] Il suffit de réfléchir au cas de la Chine, où la croissance des échanges avec l'Europe et les Etats-Unis a été entraînée tant par sa croissance économique que par la baisse du coût du transport maritime.

produits qui sont plus indiqués que les algorithmes d'équilibre des flux utilisés dans le cas du transport de voyageurs (voir chapitre II).

La structure du modèle à quatre étapes dans le cas du transport de marchandises peut aussi être équivalente à celle du transport de voyageurs, même s'il est souvent nécessaire d'avoir une spécification plus importante des différentes typologies de produits transportés pour tenir compte de leurs différentes caractéristiques.

L'autre aspect à retenir concerne l'approche basée sur la théorie du choix discret parce que dans le transport de marchandises le choix de l'envoi et de son mode dérive d'une interaction entre plusieurs agents (chargeurs, transporteurs, opérateur logistique,…), qui possèdent différentes fonctions d'utilité.

Un classement des modèles de choix modal (Russo, 2005) introduit deux classes différentes de modèles :

- Les modèles de type *consignement* sont basés sur les caractéristiques de l'envoi pour estimer le choix le plus probable de mode de transport : dans ces modèles l'opérateur de transport est le seul décideur pour lequel une fonction d'utilité doit être maximisée.
- Les modèles de type *logistic* prennent en compte aussi les caractéristiques logistiques du chargeur : de cette manière d'autres paramètres interviennent dans la fonction d'utilité globale (taille de l'envoi, fréquence de l'expédition, etc.).

Ce chapitre analyse les méthodes d'estimation de la demande de transport de marchandises, en particulier la partie génération-distribution du modèle à quatre étapes, c'est-à-dire la partie qui permet d'estimer une matrice origine-destination (matrice OD).

Le chapitre II complète l'analyse pour ce qui concerne les modèles de choix modal, d'affectation et la modélisation du réseau dans le cas du transport intermodal de marchandises.

1.3 Les modèles économétriques

Les modèles économétriques utilisés pour la prévision de la demande de transport de marchandises sont tout à fait équivalents à ceux utilisés dans le cas du transport de voyageurs : ils sont basés sur des variables socio-économiques choisies de façon appropriée.

Ces modèles sont généralement faciles à implémenter mais présentent aussi des limites évidentes : concernant le choix de variables socio-économiques appropriées dans la définition du modèle, un compromis est nécessaire entre les variables les plus appropriées et leur

disponibilité au niveau territorial envisagé: souvent, en l'absence de données, des variables qui présentent des liens faibles avec l'estimation du transport de marchandises sont retenues[13], ou alors des méthodes peu fiables sont mises en place pour déduire des données régionales à partir des données nationales.

Par conséquent, la fiabilité de ces modèles en prévision est très limitée car la composante corrigée en calibration est très importante et strictement liée à l'évolution temporelle considérée.

1.4 Le modèle Multi Regional Input Output (MRIO)

Les considérations précédentes nous conduisent à considérer une approche plus proche de l'analyse économique dans l'estimation de la demande de transport de marchandises.

Cet objectif peut être atteint par l'utilisation des modèles de type input-output dans le cas du transport de marchandises et notamment du modèle *Multi Regional Input Output* (MRIO).

Le modèle input-output de Leontief est utilisé de manière officielle par la comptabilité nationale pour représenter les échanges intersectoriels de l'économie en valeur monétaire.

Il est basé sur un tableau appelé tableau des entrées-sorties (TES), construit à partir des données comptables de l'économie nationale (production, consommation, investissement, importation, exportation) au niveau de chaque produit et de chaque branche d'activité économique.

A. Les coefficients techniques et l'inverse de la matrice de Leontief

Le tableau entrées-sorties représente les échanges intersectoriels de l'économie en valeur monétaire.

Il peut être formalisé de la façon suivante :

$X = AX + Y$

Où :

X *est la production totale (y compris les importations) ;*

Y *est la demande finale (égale à la consommation finale + les investissements + les exportations) ;*

A *est la matrice des coefficients techniques, d'où* AX *représente la consommation intermédiaire* (CI).

[13] Comme par exemple la population, le PIB,…

Le tableau fournit donc l'équilibre de la production au niveau sectoriel et pour l'ensemble de l'économie : les ressources (production et importations) doivent être égales aux emplois finaux (consommation, exportations et investissements).

La matrice des coefficients techniques (matrice de Leontief) contient des coefficients qui indiquent la quantité de ressources nécessaire pour la production d'une unité de bien : ils représentent donc la capacité de production du système économique.

Si on veut résoudre le système par rapport à la production, à condition que la matrice soit carrée, on a :

$(I - A)\ X = Y$

$(I - A)^{-1}\ (I - A)\ X = (I - A)^{-1}\ Y$

$X = (I - A)^{-1}\ Y$

Où:

$(I - A)^{-1}$ *est l'inverse de la matrice de Leontief*

L'inverse de la matrice de Leontief détermine la variation de la production suite à une variation de la demande finale : pour cette raison les coefficients de la matrice inverse sont appelés multiplicateurs sectoriels de l'output.

Pour l'utilisation appliquée au transport il est nécessaire d'utiliser la version régionalisée du modèle : le modèle *Multi Regional Input Output* (MRIO) défini par Chenery et Moses.

Dans cette version, outre les échanges intersectoriels, le modèle estime aussi les échanges entre différentes régions : de cette façon l'estimation de la demande de transport peut être faite en transformant les valeurs monétaires en quantité.

1.4.1 La régionalisation des tableaux entrées-sorties (TES)

Dans l'analyse de la demande du transport de marchandises, à l'exception des cas particuliers (transport de marchandises en ville ou commerce international), un zonage régional est généralement envisagé, d'où la nécessité d'avoir des estimations régionales des principales variables macroéconomiques pour pouvoir définir et caler un modèle.

Il faut aussi tenir compte du fait que la disponibilité de statistiques régionales varie beaucoup selon les pays[14]; à partir de données disponibles deux méthodes différentes sont possibles :

[14] Dans le cas de la France par exemple la statistique régionale est assez faible, ce n'est pas le cas de l'Italie ou de l'Allemagne.

1. L'approche de type *top down* (littéralement de haut en bas) consiste à dériver un tableau entrées-sorties régional à partir du tableau national : pour cela, différentes techniques plus ou moins complexes sont exploitables et permettent de faire face à l'absence de statistiques régionales ;
2. L'approche *bottom up* (littéralement du bas vers le haut) consiste à élaborer un tableau entrées-sorties à partir d'enquêtes directes dans le territoire examiné : cette approche demande beaucoup d'efforts et elle est par conséquent peu exploitée.

Plusieurs chercheurs ont donc essayé de développer des techniques pour dériver un tableau entrées-sorties à partir des tableaux nationaux.

Il s'agit plus précisément de :

1. Recueillir les données relatives aux paramètres macroéconomiques (consommation, production, investissements, importations et exportations) à l'échelle régionale ;
2. Estimer les coefficients techniques régionaux de façon à reproduire les échanges entre secteurs économiques à l'intérieur d'une même région.

Pour estimer les coefficients techniques régionaux (et au sens large pour l'estimation d'autres paramètres pour lesquels on ne dispose pas de statistiques), la méthode la plus simple est représentée par le « quotient de localisation » : il peut être calculé de différentes façons car il représente le poids relatif d'un secteur économique dans la région par rapport au poids du même secteur dans l'économie nationale[15].

De cette manière un indice, dit indice de spécificité (IS), peut être calculé qui indique si la région est plus (IS>1) ou moins (IS<1) spécialisée dans ce secteur par rapport à la moyenne nationale.

Pour estimer les coefficients techniques régionaux, les coefficients techniques nationaux peuvent être multipliés par l'indice de spécificité seulement dans le cas où ce dernier est supérieur à 1: de cette manière on augmente la capacité productive du secteur régional par rapport à la moyenne nationale.

La limite de cette approche demeure dans la non-convergence des tableaux régionaux par rapport au tableau national, d'où le développement de différentes techniques d'ajustement des tableaux régionaux (Isard, 1998), (Ronald et alii, 1985).

[15] Pour l'estimation du quotient de localisation on peut recourir à différents variables comme le nombre d'employés par secteur ou le nombre d'établissements et elles sont comparées avec les mêmes variables au niveau national.

1.4.2 L’estimation des échanges entre les zones

Le modèle MRIO permet aussi d’estimer les échanges entre différentes régions à traversdes d’échange.

La matrice du modèle MRIO est une matrice en bloc parce que le modèle reproduit les échanges entre le secteur d’une région et une autre région, sans spécifier vers quel secteur.

L’estimation des coefficients d’échange peut être faite soit directement à travers des enquêtes, soit à travers la mise en place d’un modèle d’estimation des échanges.

Il s’agit plus précisément de modèles de type gravitaire (basés par exemple sur la distance ou sur le coût du transport entre les régions) ou de type *logit* (Cascetta et alii, 2001) qui expriment l’utilité en fonction des coûts de transport et de la production totale annuelle régionale par secteur.

Des techniques plus avancées, qui permettent de prendre en compte aussi l’influence de la variation des prix, sont également disponibles et amènent à la définition des modèles d’équilibre général calculable (MEGC) qui sont traités dans la suite.

1.4.3 La transformation des valeurs monétaires en quantités physiques

La transformation des valeurs monétaires en quantités physiques est nécessaire pour toute application dans le domaine de la modélisation de transport.

Dans la plupart des applications on utilise souvent des coefficients estimés à travers le calage de modèles sur les statistiques de transport disponibles.

Cette procédure est assez délicate car il faut transformer des valeurs monétaires, attribuées à des secteurs économiques, en quantités physiques qui sont attribuées à des catégories de transport dans les statistiques officielles.

Cette opération demeure complexe surtout car il s’agit d’attribuer de manière univoque à des secteurs d’activité (codifiés dans la nomenclature NACE-CLIO) des produits transportés (codifiés dans la nomenclature NST) : généralement il est nécessaire de travailler à un niveau assez fin surtout pour des secteurs spécifiques comme le manufacturier (chapitre 9 NST).

Une autre procédure qui ne recourt pas à la calibration sur les statistiques de transport, qui peut introduire dans le modèle les erreurs dérivées des mêmes statistiques, est celle basée sur la marge de transport, présente dans le tableau entrées-sorties.

Pour obtenir l’estimation des tonnes-km par produit il faut considérer un prix moyen à la tonne-km par typologie de produit transporté et le rapporter aux marges de transport (transposé des secteurs économiques en produits transportés).

Deux limites sont pourtant à poser pour cette approche :

1. La première, d'ordre applicatif, résulte de la difficulté de repérer des estimations fiables des prix du transport par typologie de produit, à cause de la grande hétérogénéité des situations qui ne permet pas une fiabilité statistique suffisante ;
2. La deuxième, d'ordre conceptuel, vient de la conception même des TES qui par définition ne comptabilisent pas les phénomènes d'autoproduction, comme le transport en compte propre.

Certains auteurs (Costa, 1987) ont aussi essayé de donner une estimation de l'activité du transport en compte propre afin de corriger les estimations de la marge de transport dans les TES : si cette approche reste difficile à appliquer, elle présente de toute évidence un intérêt car elle permet de surmonter certaines limites inhérentes aux statistiques officielles de transport.

B. La marge du transport

L'estimation de cette variable dans le TES présente plusieurs difficultés d'ordre pratique.

Il est en premier lieu essentiel de définir la signification de cette variable : la marge du transport plus la marge commerciale constituent le montant de la différence entre la production estimée au prix de marché et celle estimée départ usine.

La marge du transport est évaluée par typologie de transport (routier pour compte d'autrui, ferroviaire,…) à partir de la production des entreprises de transport à laquelle on soustrait la consommation intermédiaire et finale.

La complexité majeure demeure dans la répartition de la marge entre les différentes branches d'activité pour lesquelles des tableaux quote-part sont utilisés et doivent être mis à jour par des vérifications indirectes.

1.4.4 Le modèle MRIO dynamique

Le modèle input-output classique présente aussi deux limites principales :

1. Le fait de représenter de manière rigide les liens intersectoriels, à travers des coefficients techniques fixés ;
2. Le fait d'être un modèle statique qui ne prend pas en compte la composante temporelle dans la détermination de l'équilibre macroéconomique.

Ces deux limites peuvent être surmontées par l'introduction de coefficients élastiques, basés sur des modèles de type comportemental ou descriptif.

Cette méthode consiste en l'intégration d'un modèle input-output classique avec des modèles économétriques, et plus précisément par la définition de modèles d'équilibre général calculable (MEGC).

La différence principale entre un modèle de type input-output dynamique et un MEGC est d'ordre économique : les MEGC utilisent des fonctions non linéaires entre les variables macroéconomiques, tel est le cas de la fonction de production de type Cobb-Douglas, qui permet de reproduire des économies d'échelle (Klein, 2006).

De toute façon, dans le domaine de la modélisation de transport les modèles de type input-output peuvent être considérés comme tout à fait satisfaisants parce qu'ils reproduisent de manière efficace les relations intersectorielles qui sont à la base du transport de marchandises.

1.5 Les MEGC dans leur version spatiale

Les MEGC constituent une évolution du modèle input-output dans sa version dynamique à coefficients élastiques.

Le but des MEGC est de calculer de nouveaux équilibres économiques possibles consécutifs à une variation des paramètres macroéconomiques de référence (consommation, production, investissements, importations et exportations).

Le modèle input-output est donc à la base des MEGC dans le sens où il représente la contrainte d'interdépendance entre les secteurs économiques.

Il existe deux types de MEGC :

1. Les modèles d'équilibre partiel dans le cas où ils considèrent seulement une partie des secteurs économiques ;
2. Les modèles d'équilibre général qui analysent l'économie dans son ensemble et ainsi tous les secteurs d'activité économique.

Les MEGC sont généralement utilisés dans l'analyse des politiques du commerce international à travers l'introduction de variations dans les taxes douanières, mais aussi dans l'analyse des politiques fiscales.

Une évolution significative des MEGC est représentée par l'introduction de la composante spatiale dans la modélisation (SCGE : *Spatial computable general equilibrium*) : dans ce cas l'évolution des coûts de transport intervient également dans la détermination de l'équilibre économique.

C. Les modèles SCGE et l'équilibre de Nash : le modèle SPE

Les modèles SCGE sont utilisés pour l'analyse de l'équilibre économique soit au niveau désagrégé (c'est-à-dire au niveau d'une entreprise particulière) soit au niveau agrégé (relatif à l'économie d'une région ou d'un Etat).

Dans la théorie économique, il existe trois genres d'équilibre : la libre concurrence, le monopole et l'oligopole, ce dernier peut être résolu dans la théorie des jeux « non coopératifs » par l'équilibre de Nash. Un tel modèle prend l'acronyme de « Spatial Price Equilibrium » (SPE).

Dans le cas le plus simple (une fonction de coût marginal linéaire, une fonction de demande linéaire et un modèle qui ne prévoit ni investissements, ni variation des stocks) la fonction de profit de l'entreprise (qui dans ce modèle constitue la fonction à maximiser) peut être formulée de la façon suivante dans l'équilibre de Nash :

$$\Pi_i = \sum_j PD_j X_{ij} - (\int MC_i dX_i + \overline{FC_i}) - t_{ij} X_{ij}$$

Où:

i représente la région dans laquelle on produit ;

j représente la région dans laquelle on consomme ;

PD_j est la courbe de demande de type α_j-$\beta_j Y_j$ où Y est la quantité consommée, α et *β, deux paramètres ;*

MC_i est la courbe de coût marginal de type $\nu_i + \eta_i X_i$ où X est la quantité produite, ν, η, deux paramètres ;

FC_i indique les coûts fixes de production dans la région i;

t_{ij} représente les coûts unitaires de transport entre la région i et la région j ;

X_{ij} représente la quantité transportée de i à j;

De cette façon le problème de SCGE dans l'équilibre de Nash devient pour la région i:

$$\max \Pi_i$$
$$X_i \geq \sum_j X_{ij}$$
$$X_i \geq 0$$
$$X_{ij} \geq 0$$

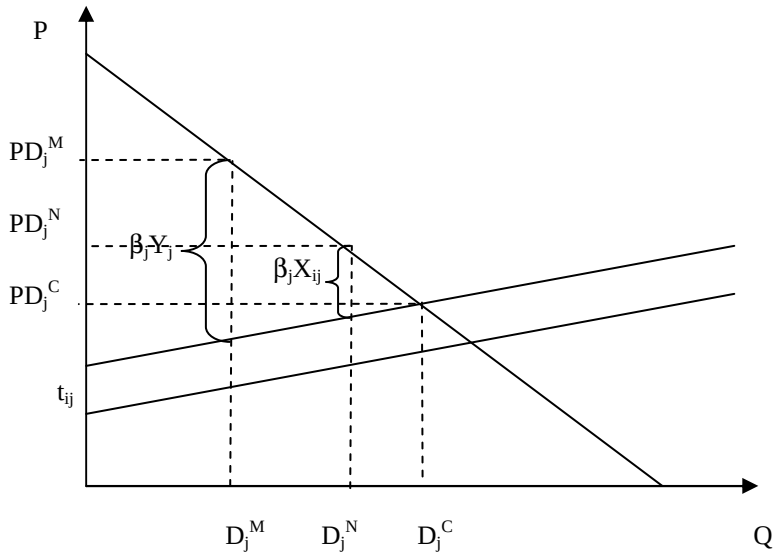
Ce problème peut être généralisé à toutes les régions (qui produisent et consomment):

$$\max \sum_j \int \{\alpha_j - \beta_j Y_j\} dY_j - \sum_i \left[\int \{\nu_i + \eta_i X_i\} dX_i + \overline{FC_i} \right] - \sum_i \sum_j \beta_j X_{ij} - \sum_i \sum_j t_{ij} X_{ij}$$

$$\sum_i X_{ij} \geq Y_j \forall j$$

$$X_i \geq \sum_j X_{ij} \forall i$$

Le résultat (N) est reproduit dans le graphique ci-dessous où sont également mis en évidence les points optimaux dans les cas de monopole (M) et de concurrence parfaite (C)



A noter que dans l'équilibre de concurrence parfaite, la différence entre le prix de demande dans la région consommatrice j et le coût marginal de production dans la région i est seulement égale au coût du transport entre les deux régions alors que dans les deux autres cas il y a aussi un terme additionnel (plus important dans le cas du monopole).

1.6 Une analyse rétrospective de quelques modèles existants

Les modèles existants qui analysent la demande de transport de marchandises peuvent être rapprochés d'une façon ou d'une autre des différentes approches possibles présentées précédemment.

Parmi les modèles qui utilisent l'approche classique économétrique à quatre étapes, on pourrait citer les plus récents, tels que les modèles LTF[16] (France-Italie), MSF[17] (France) et MODEV[18] (France).

[16] LTF : "Lyon-Turin Ferroviaire" (LTF-Setec)
[17] MSF : « Modèle Scenario Fret » (RFF-Nestear)
[18] Modev : modèle multimodal voyageurs et marchandises (SESP)

C'est l'approche aussi du modèle QUINQUINFRET (Durand, 2001), qui introduit aussi l'analyse spatiale à travers les coefficients structurels.

En général le modèle à quatre étapes est retenu dans tous les modèles, même si la matrice origine/destination peut être estimée à travers des modèles de type input-output classiques, comme c'est le cas par exemple dans les modèles MITER[19] (Italie) et SAVEF[20] (Italie).

La référence pour ces modèles est représentée par le modèle de Amano et Fujita, développé au Japon dans les années soixante-dix pour évaluer les projets des lignes à grande vitesse (Quinet, 1998).

Les modèles ASTRA[21] (Allemagne-Italie) et RUBMRIO[22] (États-Unis) représentent des exemples de modèles input-output dynamiques, ainsi que le modèle RAEM[23] (Pays-Bas) qui représente l'évolution de ces derniers vers les modèles d'équilibre général calculable dans leur version spatiale.

1.7 Les avantages et les champs d'application

Les modèles MRIO permettent différentes applications au domaine de l'évaluation de la demande du transport de marchandises, surtout à travers l'introduction des filières logistiques dans le modèle à quatre étapes.

En ce sens le modèle MRIO permet de reproduire de manière plus efficace les choix des opérateurs de transport de marchandises en considérant le poids que l'organisation logistique représente dans les choix de transport des marchandises.

De cette façon, il est possible d'évaluer l'impact des politiques et mesures dans le secteur du transport des marchandises, en particulier leurs impact territorial et économique.

1.7.1 L'identification des filières logistiques

Ces dernières années le concept de filière logistique s'est répandu dans de nombreux domaines, surtout dans le transport de marchandises.

Plus précisément le concept de logistique a supplanté la conception classique du transport de marchandises par son intégration dans un domaine plus large, celui de la chaîne d'approvisionnement (en anglais *supply chain*), qui intègre d'autres paramètres de coût, y compris ceux liés au stockage.

[19] MITER : "Modello Integrato dei Trasporti e delle Economie Regionali" (Sistemi Operativi)
[20] SAVEF : « Sistema di Analisi e Valutazione dell'Evoluzione del sistema Ferroviario italiano » (RFI)
[21] ASTRA : "Assessment of Transport Strategies" (IWW-TRT)
[22] RUBMRIO : « Random-Utility-Based Multiregional Input-Output Model » (University of Texas at Austin)
[23] RAEM : the Dutch spatial general equilibrium model (TNO-University of Groningen)

En ce sens plusieurs formulations d'une fonction de coût total logistique (TLC : *total logistic cost*) ont été proposées pour reproduire de manière plus efficace les choix modaux dans le transport de marchandises (voir encadré D et chapitre II).

La difficulté de cette approche réside dans la disponibilité des données nécessaires au calage de la fonction de TLC, en particulier de façon désagrégée, parce qu'il faudrait enquêter directement de nombreux établissements industriels, entrepôts logistiques et entreprises de transport (voir chapitre III).

Dans le transport de marchandises, en fait, ces paramètres dérivent de l'interaction entre plusieurs acteurs qui interviennent dans le processus de production et de distribution des marchandises : ces acteurs établissent une chaîne logistique dans laquelle les différents besoins et les poids relatifs des acteurs sont équilibrés et compensés.

L'identification des filières logistiques et des paramètres qui définissent leurs caractéristiques en termes de production et distribution (temps de consigne, poids, fréquence, valeur de la marchandise, etc.) s'avère donc nécessaire pour analyser les choix modaux et proposer des innovations pour améliorer l'impact économique, environnemental et énergétique de la chaîne d'approvisionnement.

Les modèles input-output sont les plus indiqués pour l'individuation et la représentation des filières logistiques, parce que, par définition, ils représentent les échanges intersectoriels entre les secteurs économiques, qui constituent une filière logistique.

L'analyse territoriale fournie par les modèles input-output est également envisageable, car il est possible de relier les données économiques aux statistiques territoriales (nombre d'employés ou nombre d'établissements) : il est possible de régionaliser les tableaux entrées-sorties à travers des modèles d'économétrie spatiale pour corréler les flux des transports au zonage territorial, en considérant les paramètres socio-économiques (comme par exemple le nombre d'employés ou le nombre d'établissements).

1.7.2 La définition d'un modèle de choix modal logistique

Une fois repérés les différentes filières logistiques et les paramètres qui peuvent influencer les choix modaux dans le transport de marchandises, il est possible de définir un modèle de choix modal de type *logistic*, c'est-à-dire basé sur une fonction de coût total logistique (TLC) pour les entreprises. La définition de cette fonction dépend bien évidemment de la disponibilité des données pour son calage, qui doivent être recueillies à travers des enquêtes, très coûteuses, auprès des entreprises.

Une enquête de ce type, l'enquête ECHO2004, a été menée sur l'ensemble de la France sur un échantillon de 3000 établissements (Guilbault 2008). Les données recueillies permettraient donc le calage d'un modèle de choix modal basé sur une fonction de coût total logistique.

D. Formulation analytique d'une fonction de coût total logistique

La formulation d'une fonction de coût total logistique demeure assez complexe car il faut modéliser soit une composante relative au transport de la marchandise, soit celle relative à son stockage. Une formulation simplifiée et pourtant efficace est proposée par le problème de l' « optimum shipment size » (Filippi, 2007).

Il faut tout d'abord considérer un coût à la tonne linéairement croissant avec la distance (du fait qu'il est convexe par rapport à la quantité, mais concave par rapport à la distance). La composante logistique est aussi simplifiée car on considère un niveau de stockage constant.

L' « optimum shipment size » vise à déterminer la quantité Q de chaque envoi qui minimise le coût total logistique dans le respect de la contrainte de capacité K de chaque véhicule.*

La fonction de coût total logistique peut être formulée comme la somme des ces deux composantes :

- la première composante est relative au coût du transport :

$$\frac{m}{Q}(S + dv)$$

Où:

m représente la quantité expédiée annuellement ;

Q la quantité de chaque envoi ;

S le coût fixe du transport ;

d la distance du transport ;

v le coût unitaire du transport (au km) ;

- la deuxième composante est relative au coût de stockage :

$$\frac{IQ(c + td)}{2}$$

Où:

I est un coefficient relatif à l'incidence du stockage de la marchandise sur le capital ;

c est le prix unitaire de la marchandise (à la tonne) ;

t est le coût du transport à la tonne-km ;

c+td représente en conséquence le prix de vente de la marchandise ;

La formulation de la fonction du coût total logistique vient donc de la somme des ces deux composantes ; en substituant en particulier t=v/Q on obtient en conséquence:

$$TLC = \frac{m}{Q}(S + dv) + \frac{IQc}{2} + \frac{Idv}{2}$$

1.7.3 L'évaluation des politiques dans le domaine du transport

Un modèle MRIO conçu de cette façon permet d'évaluer l'impact des politiques et mesures dans le domaine du transport en intégrant soit la composante transport-territoire (les flux de marchandises et leurs répartition territoriale), soit la composante transport-économie (c'est-à-dire l'interaction entre politique de transport et productivité des entreprises).

Pour évaluer la répartition territoriale des flux, l'application d'un modèle d'affectation multi-flux/multi-produits est plus indiquée que celle d'algorithmes d'équilibre des flux utilisés dans le cas du transport de voyageurs (voir chapitre II).

Pour évaluer la relation transport-économie, un modèle MRIO à élasticité s'avère par contre indispensable pour analyser les interactions entre variables de transport et paramètres macroéconomiques.

Les coefficients d'échange dans le modèle MRIO peuvent être reliés, soit à travers un modèle de type gravitaire, soit par des modèles comportementaux, à la fonction de coût entre deux zones : de cette façon une variation des coûts de transport déterminée par la procédure d'affectation à l'équilibre, entraîne une variation des échanges entre les deux zones.

Au niveau macroéconomique, une relation fondamentale est représentée par l'équilibre des prix : sans recours à des fonctions non linéaires, il est possible d'introduire une variation de la consommation finale à travers l'élasticité demande-prix (calculée par exemple à travers des estimations économétriques).

En ce sens une variation des prix, entraînée par exemple par une variation des marges de transport causée par une intervention dans ce secteur, peut introduire une variation de la demande et par la suite conduire à un nouvel équilibre économique.

Généralement, on peut également considérer que dans la plupart des applications dans le domaine des transports, il n'est pas nécessaire de mettre en place des modèles d'équilibre général calculable trop complexes qui visent à déterminer l'équilibre économique dans le respect de toutes les contraintes macroéconomiques (y compris les investissements par exemple).

L'analyse des politiques dans le domaine des transports concerne généralement deux aspects :

- La réalisation de nouvelles infrastructures, qui peuvent entraîner une modification des coûts de transport et en conséquence des échanges commerciaux ;
- Les politiques tarifaires et de régulation dans le secteur du transport qui peuvent entraîner une modification de la marge des transporteurs et par conséquent de l'équilibre des prix.

Ce dernier aspect demeure très important et amène à la conclusion que l'approche portée par les modèles MRIO à coefficients élastiques demeure nécessaire pour ne pas sous-estimer l'impact que la variation des prix provoque dans les flux commerciaux et donc dans le transport de marchandises.

1.8 Conclusion

La revue synthétique des approches existantes dans l'estimation de la demande de transport des marchandises permet de comprendre la complexité du sujet traité et son aspect interdisciplinaire.

Par rapport au cas du transport de voyageurs, il s'avère évident que la composante macroéconomique est fondamentale dans la modélisation du transport de marchandises.

Une approche simplifiée, comme celle fournie par les modèles économétriques, n'est pas assez fiable dans le cas du transport de marchandises en raison de l'absence de statistiques officielles fiables, alors qu'elle est suffisante pour la plupart des analyses de trafics voyageurs.

Il faut aussi souligner que le choix du modèle dépend principalement de l'objectif de son utilisation et des ressources disponibles, compte tenu du fait que les différentes approches demandent des efforts calculatoires importants, à l'exception de l'approche économétrique.

De surcroît ces modèles demeurent souvent inutilisés car leur calage demande des bases de données importantes et difficiles à élaborer : souvent, après la première application, ces modèles deviennent obsolètes et ne sont plus fiables.

On considère donc que l'avancement de la recherche dans ce domaine résulte dans l'intégration des approches existantes plutôt que dans le développement de nouveaux modèles excessivement complexes, dans la recherche d'un compromis entre bonne fiabilité et complexité calculatoire limitée.

En conclusion la structure du modèle à quatre étapes pourrait bien être gardée à travers l'intégration d'un modèle MRIO à coefficients élastiques dans les phases de génération et distribution pour l'estimation de la matrice origine-destination.

2 Les modèles de choix modal, d'affectation et la modélisation du réseau pour le transport intermodal de marchandises

2.1 Introduction

Le transport intermodal de marchandises présente des caractéristiques qui en rendent la modélisation plus complexe :

- Tout d'abord, le choix de recourir au transport intermodal dépend fortement des caractéristiques de la marchandise et pas seulement des facteurs prix et temps de parcours : pour cette raison il est important d'intégrer le coût total logistique dans les modèles de choix modal pour le transport de marchandises ;
- Compte tenu du fait que le transport intermodal des marchandises concerne principalement les flux interrégionaux, les phénomènes liés à la congestion sont marginaux par rapport aux contraintes physiques[24] : pour cette raison les modèles d'affectation multi-flux sont plus indiqués que les modèles d'équilibre des flux.
- Enfin, dans les modèles de localisation optimale des terminaux, il est nécessaire d'introduire dans la modélisation du réseau certains effets (notamment les économies d'échelle et de distance) qui peuvent peser sur les résultats de la modélisation.

Tous ces éléments permettent de parvenir à une modélisation correcte des facteurs de choix du transport intermodal de marchandises.

2.2 L'intégration du coût total logistique dans les modèles pour le transport de marchandises

Le choix modal dans le transport de marchandises présente des différences par rapport au cas du transport de voyageurs où le décideur est unique et où il représente l'objet du transport (voir chapitre I).

[24] C'est-à-dire que la capacité des différentes modes de transport (y compris les terminaux) est déterminée à priori et ne dépend pas des flux de transport comme dans le cas de la congestion routière en zone urbaine.

Dans le transport des marchandises le choix du mode de transport, de la taille de l'envoi et du moment de départ est partagé entre le producteur, le destinataire[25], le commissionnaire[26] de transport et le transporteur.

Le modèle de choix modal qui intègre le seul coût généralisé du transport concerne le seul transporteur en simplifiant le problème.

Le commissionnaire de transport, ou mieux l'opérateur logistique, ne considère pas seulement le coût de transport comme le transporteur, mais aussi le coût de stockage de la marchandise.

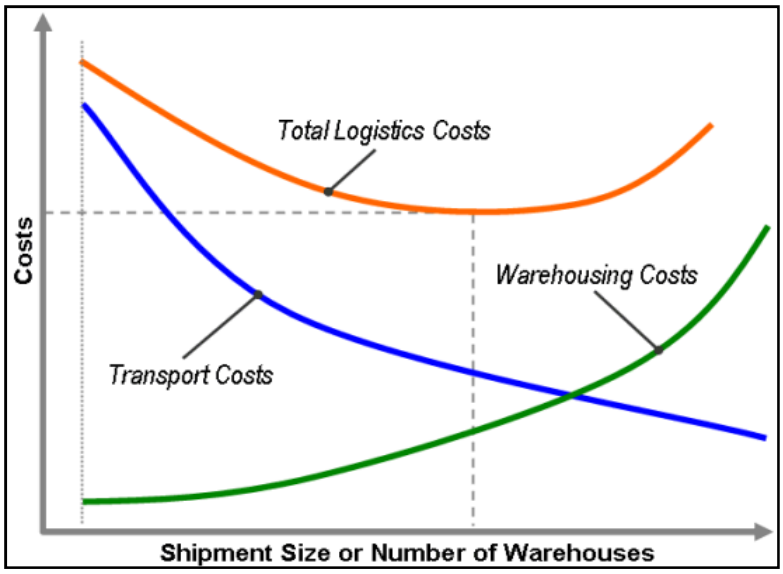


Figure 1 La fonction de coût total logistique (source McKinnon)

La figure 1 montre que la fonction de coût de transport décroît avec la taille de l'envoi (grâce aux économies d'échelle) ; au contraire la fonction de coût de stockage croît évidemment avec la quantité à stocker et à envoyer.

En conséquence la fonction de coût total logistique admet un minimum qui représente la taille optimale de l'envoi, en anglais le *optimum shipment size* (OSS).

2.2.1 Le coût total logistique et le choix du mode de transport

Différentes formulations de la fonction de coût total logistique sont disponibles dans la littérature, par exemple Ghodsypour, O'Brien C. (2001).

[25] Le destinataire de l'envoi est selon le cas le consommateur final ou un autre producteur qui reçoit la marchandise pour la transformer à son tour.
[26] Le commissionnaire de transport est un intermédiaire de commerce, organisateur de transport de marchandises (source : Wikipedia).

Russo (2005) utilise une formulation simplifiée pour un modèle de choix discret, où la fonction d'utilité est la suivante:

$$V_{od,mq} = \beta_t T_m + \beta_c T_{mq} + \beta_h H_{mq} + \beta_i I_{mq} + \beta_{ld} LLD_m + \beta_{ASA} ASA + \beta_{AM} AM + \beta_{AD} AD$$

Où:

- T_m est le temps de trajet;
- C_{mq} est le coût du transport;
- H_{mq} est le coût nécessaire pour préparer l'envoi (*Handling & ordering cost*);
- I_{mq} est le coût du stockage (*Inventory cost*);
- LLD_m est le coût nécessaire pour assurer la marchandise en cas de dégât ou de vol;
- ASA est le paramètre spécifique du mode de transport;
- AM est le paramètre pour la marchandise;
- AD est le paramètre spécifique de l'entreprise;
- β est le paramètre de calage.

Il propose aussi une formulation de l'utilité pour chaque mode de transport: train (T), transport combiné (C), route compte d'autrui (S) et route compte propre (P):

$$V_T = \beta_t T_T + \beta_c T_T + \beta_{ld} LLD_T + \beta_i I_T + \beta_{TRAIN} TRAIN + \beta_{RF} RF$$
$$V_C = \beta_t T_C + \beta_c C_C + \beta_{ld} LLD_C + \beta_i I_C + \beta_{COMB} COMB$$
$$V_S = \beta_t T_S + \beta_c C_S + \beta_{ld} LLD_S + \beta_i I_S + \beta_{DAV} DAV$$
$$V_P = \beta_t T_P + \beta_c C_P + \beta_{ld} LLD_P + \beta_i I_P + \beta_{CAM_PR} CAM_PR + \beta_{DAV} DAV$$

Où:

TRAIN est le paramètre spécifique pour le transport ferroviaire;

RF est le paramètre spécifique de l'entreprise, relative à la disponibilité d'embranchement ferroviaire;

COMB est le paramètre spécifique pour le transport combiné;

DAV est le paramètre spécifique pour la marchandise périssable à haute valeur;

CAM_PR est le paramètre spécifique pour le transport routier compte propre.

2.2.2 Le coût total logistique et la configuration du réseau de transport

La fonction de coût total logistique se modifie selon la configuration du réseau de transport, c'est-à-dire dans le cas où l'envoi passe par un centre de groupage, à la place d'un envoi direct.

Trois possibilités différentes sont proposées par Blumenfeld, Burns, Diltz et Daganzo (1985):

a) Un réseau d'envois directs entre origines et destinations de la marchandise;

b) Un réseau avec un seul centre de groupage entre origines et destinations;

c) Un réseau mixte avec soit un centre de groupage, soit des envois directs.

Dans le premier cas, la formulation de la fonction de coût total logistique est la suivante:

$$C = C_I + C_T = PR\left(\frac{V}{Q} + T\right) + \frac{F}{V}$$

Où:

- C_I est le coût de stockage, supposé linéaire;

- C_T est le coût du transport;

- P est la valeur de la marchandise;

- R est le coefficient qui considère l'immobilisation du capital pendant le déplacement;

- V est la taille de l'envoi;

- Q est la quantité totale à envoyer;

- T est le temps trajet entre origine et destination de la marchandise;

- F est le coût moyen de transport.

La taille optimale de l'envoi (OSS) est donc égal à:

$V^* = \min (Z,W)$

Où:

- $Z = \sqrt{\frac{FQ}{PR}}$;

- W est la capacité du mode de transport.

En conséquence le coût unitaire moyen est égal à:

a) $C^* = 2\sqrt{\frac{PRF}{Q}} + PRT$ si Z≤W;

b) $\frac{F}{W} + \frac{PRW}{Q} + PRT$ si Z>W.

Dans le deuxième cas il y a la possibilité d'utiliser un centre de groupage (figure 2).

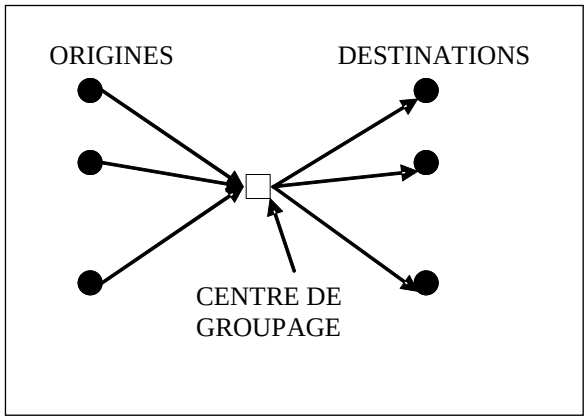


Figure 2 Réseau avec un centre de groupage entre origines et destinations

Dans ce cas, le coût total logistique devient:

$$C = \left[PR\left(\frac{V_1}{Q_1} + T_1 \right) + \frac{F_1}{V_1} \right] + PRT_C + \left[PR\left(\frac{V_2}{Q_2} + T_2 \right) + \frac{F_2}{V_2} \right]$$

Où T_C est le temps de transit dans le centre de groupage.

Le troisième cas constitue la combinaison des deux cas précédents.

Il y a trois alternatives possibles:

1. Envoyer directement toute la marchandise;
2. Envoyer toute la marchandise en passant par le centre de groupage;
3. Envoyer une partie de la marchandise directement et l'autre partie en passant par le centre de groupage.

Dans les deux premiers cas on a une affectation de type tout-ou-rien: le coût est toujours égal au coût minimum exprimé par les fonctions de coût total logistique déjà calculées.

La troisième option est la plus difficile à calculer car dans un réseau avec M origines et N destinations les parcours possibles sont 2^{MN}.

Daganzo (1985) utilise un algorithme qui décompose le réseau en sous-réseaux simplifiés et fournit la démonstration mathématique que la stratégie optimale dans le sous-réseau est aussi la stratégie optimale dans le réseau complet.

2.2.3 Une méthode pour désagréger des flux zone à zone en flux établissement à établissement

Les modèles de coût total logistique, présentés dans les paragraphes précédents, sont valides seulement si on prend en compte chaque établissement de manière séparée. Les modèles d'estimation de la demande de transport de marchandises par contre sont utilisés pour estimer les flux entre zones agrégées.

Pourtant la plupart des modèles font référence à la théorie de la *discrete choice analysis* qui nécessite un décideur unique, comme c'est le cas pour un seul établissement industriel.

Cette considération est probablement à la base des récents développements théoriques proposés par Ben-Akiva et De Jong (2008) dans la définition du modèle ADA (*Aggregate-Disaggregate-Aggregate Freight Model System*) qui consiste à désagréger les flux économiques pour chaque établissement pour ensuite les agréger au niveau de chaque zone de la matrice origine-destination (figure 3).

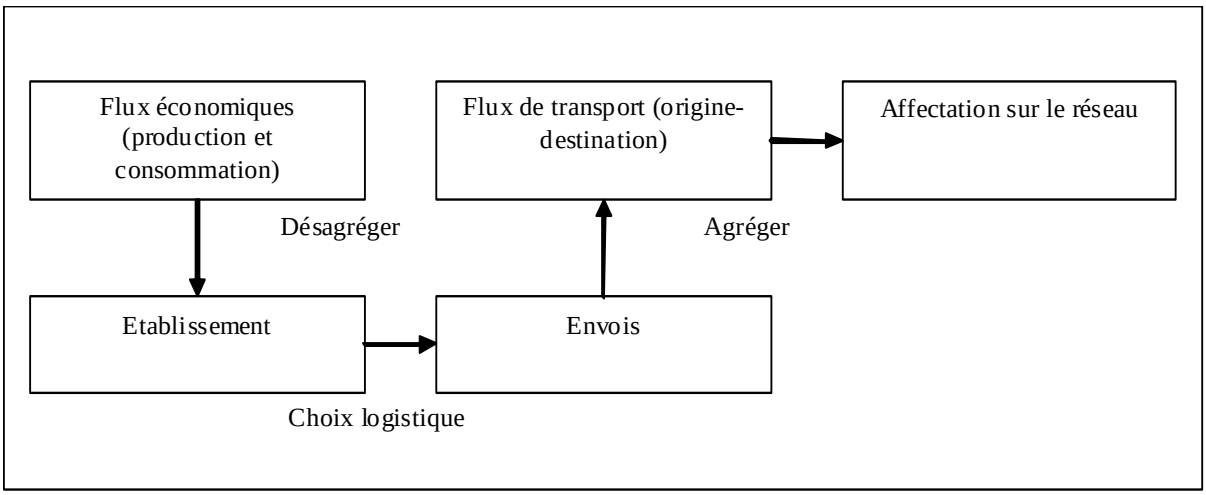


Figure 3 Le modèle ADA (source Ben-Akiva et De Jong)

La limite principale de cette modèle repose probablement dans son excessive spécification et en conséquence dans la difficulté à repérer les données nécessaires à un degré de fiabilité statistique suffisant.

Pour résoudre cette difficulté il est possible d'appliquer un modèle du type markovien qui considère les systèmes productifs pour déterminer les matrices origine-destination des produits transportés (Sauvant, Verny, 2002).

L'analogie avec les modèles de type input-output permet de mieux expliquer la problématique : dans une économie fermée, le modèle de Leontief considère que le total des

inputs à la production est égal au total des outputs. Pour une économie ouverte le total des inputs et des importations doit être égal au total des outputs et des exportations.

En réalité les tableaux entrés-sorties sont établis en valeur monétaire et pas en quantité physique, ce qui provoque des distorsions dans la définition de la matrice des coefficients techniques. La seule observation quantitative est celle relative aux flux de transport, exprimés en tonnes et tonnes-kilomètres.

Il faut souligner que ces deux mesures de transport ne prennent pas en compte le même phénomène: si les tonnes-kilomètres sont une mesure de l'activité de transport, les tonnes transportées ne font à la rigueur pas partie de cette catégorie[27]. L'estimation des tonnes transportées représente par contre une observation très importante des systèmes de production : l'observation du passage d'une tonne à un instant précis et à travers un point déterminé de l'espace, constitue en réalité l'observation d'une possible transformation, soit physique, soit économique ; la difficulté réside dans le fait de connaître l'origine et le résultat de cette transformation. Par exemple on ne peut pas savoir si une tonne de céréales sera transformée en produit alimentaire ou si elle sera consommée pour l'alimentation animale.

L'intérêt des modèles de type input-output est lié à la possibilité de modéliser les processus industriels ; l'intérêt des statistiques de transport est quant à lui lié à sa composante de localisation. Autrement dit, la limite principale des modèles input-output est de représenter des systèmes productifs sans considérer le déplacement des produits, inversement, la limite principale des statistiques de transport est liée au fait de constituer une simple observation qui ne considère ni sa cause, ni ses effets.

La possible combinaison des deux approches serait donc envisageable pour mieux comprendre et modéliser les flux de marchandises et l'économie industrielle.

2.3 Les modèles d'affectation multimodale et la modélisation du réseau pour le transport intermodal de marchandises

Le transport combiné intègre deux modes de transport ou plus à travers l'utilisation d'unités de charge standardisées qui sont transbordées d'un mode de transport à l'autre dans les chantiers de transbordement (ou terminaux intermodaux).

L'intérêt de cette technique est de jouer sur la complémentarité entre modes de transport qui présentent des caractéristiques différentes:

[27] Les tonnes représentent une mesure directe des échanges commerciaux entre pays et régions et en conséquence une mesure indirecte de l'activité de transport.

1. Une mode de transport capillaire, le transport routier, qui permet de desservir les clients de porte à porte;
2. Une mode de transport massifié, le transport ferroviaire, maritime ou fluvial, qui permet de transporter la marchandise entre terminaux en réduisant le coût du transport grâce aux économies d'échelle et de distance.

Le transport combiné permet de développer des réseaux de type *hub&spoke*, où les hubs sont représentés par les terminaux intermodaux et les *spoke* sont les parcours initiaux ou finaux routiers. Il est possible de développer des réseaux *hub&spoke* aussi avec un seul mode de transport, par exemple ferroviaire, pour massifier les flux entre des hubs principaux, connectés par des parcours *spoke* vers des terminaux secondaires.

La possibilité de développer des économies d'échelle dans le transport de fret pour réduire ses coûts justifie donc cette démarche.

La théorie du réseau *hub&spoke* a été développé principalement dans le transport aérien : des modèles et algorithmes ont été conçus pour déterminer la localisation optimale des hubs et pour établir les connections possibles entre plusieurs origines-destinations.

2.3.1 Les modèles d'affectation multimodale et multi produits

Les modèles de choix modal et de choix d'itinéraire peuvent être intégrés dans les modèles d'affectation multimodale et multi produits, qui sont plus performants que les modèles d'affectation classique dans le cas du transport de marchandises.

La formulation de ces modèles est largement disponible dans la littérature, par exemple dans Pesenti (2002). Le modèle considère un réseau composé de N nœuds, A arcs et M modes de transport entre les possibles origines/destinations. La différence avec les modèles d'affectation monomodale classique est liéeau fait que chaque arc $a \in A$ est caractérisé par trois éléments (i,j,m) où $i, j \in N$ sont origine e destination et $m \in M$ est le mode de transport.

Chaque arc est donc associé à plusieurs fonctions de coût (qui dépendent du flux qui traverse l'arc) et deux nœuds peuvent être connectés par plusieurs arcs parallèles associés à différents modes de transport. Chaque nœud $i \in N$ constitue une infrastructure et pour chaque couple d'arcs qui est connecté par le nœud il y a un coût de transfert d'un mode de transport à l'autre.

En conséquence la fonction objective qui minimise le coût total peut être exprimée par la formule suivante:

$$\min \sum_{p} (\sum_{a} s_{p,a}(v) v_{p,a} + \sum_{t} s_{t,a}(v) v_{t,a})$$

Avec les contraintes suivantes:

- la demande totale doit être satisfaite:

$$\sum_{l \in L_{p,o,d}} h_{p,l} = g_{p,o,d} \forall p, o, d$$

- les flux sont non négatifs:

$$h_{p,l} \geq 0, \forall l \in L_{p,o,d} \forall p, o, d$$

- conservation des flux sur les arcs:

$$v_{p,a} = \sum_{o,d} \sum_{l \in L_{p,o,d}} \delta_{a,l} h_{p,l} \forall a, p$$

- conservation des flux dans les transferts:

$$v_{p,t} = \sum_{o,d} \sum_{l \in L_{p,o,d}} \delta_{t,l} h_{p,l} \forall t, p$$

Avec les notations suivantes pour les paramètres:

- $p \in P$: produits considérés;
- $m(p) \subseteq M$: modes de transport compatibles avec le produit *p*;
- $g_{o,p,d}$: demande de transport du produit *p* entre le nœud *o* et le nœud *d;*
- $L_{p,o,d} \subseteq 2^A$: ensemble des parcours admissibles entre le nœud *o* et le nœud *d* pour le produit *p* avec le mode *m*(*p*);
- $\delta_{a,l} \in \{0,1\}$: indicateur égal à 1 si l'arc *a* appartient au parcours *l*, 0 autrement;
- $s_{p,a}(v)$: coût du transport sur l'arc $a \in A$ pour une unité de flux du produit *p*, quand la valeur des flux est égale à *v*;
- $t \in T$: transfert possible;
- $s_{p,t}(v)$: coût du transfert $t \in T$ pour une unité de flux du produit *p*, quand la valeur des flux est égale à *v*;
- $\delta_{t,l} \in \{0,1\}$: indicateur égal à 1 si le transfert *t* appartient au parcours *l*, 0 autrement;

Et les notations suivantes pour les variables:

- $h_{p,l}$: flux du produit *p* sur le parcours *l*;
- $v_{p,a}$: flux du produit *p* sur l'arc *a*;
- $v_{p,t}$: quantité du produit *p* transférée en *t*;
- *v*: vecteur de flux total sur le réseau.

Les algorithmes pour résoudre le modèle sont équivalents à ceux utilisés dans les modèles d'affectation monomodale, en particulier l'algorithme de Dijkastra.

2.3.2 Le modèle de localisation optimale dans sa version de base

Le modèle de localisation optimale (en anglais *facility location*) permet d'identifier sur le graphe de transport la localisation qui minimise la fonction objective à partir des nœuds identifiés comme origine/destination de la demande de transport.

La fonction objective peut représenter le coût de transport et l'investissement nécessaire et les contraintes peuvent représenter la capacité du terminal et la demande potentielle.

La formulation du modèle est la suivante (Sassano, 2004):

$$Min \sum_u \sum_v c_{vu} y_{vu} + \sum_u f_u x_u$$

$$\sum_u y_{vu} = 1$$

$$\sum_v d_v y_{vu} \leq k_u x_u$$

$$y_{vu} \leq x_u$$

$$x_u \in \{0,1\}; 0 \leq y_{vu} \leq 1$$

Où :

- $u \in U$ ensemble des localisations disponibles (*facilites*) ;
- $v \in V$ ensemble d'origines/destinations de la demande;
- d_v demande du client *v* ;
- y_{vu} partie de la demande du client v sur le terminal *u* ;
- c_{vu} coût d'allocation du client v au terminal *u* ;
- f_u investissement nécessaire pour le terminal *u* ;
- k_u capacité du terminal *u* ;
- x_u variable égale à 0 si le terminal n'est pas actif et à 1, autrement.

En particulier la première contrainte indique que toute la demande de chaque client doit être satisfaite. La deuxième contrainte indique qu'un terminal inactif (x=0) ne peut satisfaire aucune demande, par contre s'il est actif (x=1) il peut satisfaire une demande égale au maximum de sa capacité. La troisième contrainte indique que la part de la demande d'un client sur un terminal est toujours comprise entre 0 (si le terminal n'est pas actif ou si le client ne l'utilise pas), et 1 si le client utilise uniquement ce terminal pour satisfaire toute sa demande).

Le modèle de *facility location* permet d'étudier la localisation optimale d'un terminal intermodal sur un territoire donné (Antoniazzi, 2007), mail il ne permet pas de modéliser un réseau *hub&spoke* pour un opérateur de transport combiné.

2.3.3 Le modèle de localisation optimale avec économies d'échelle

Une formulation du modèle de localisation optimale pour un réseau *hub&spoke* est fournie par (Racunica, Winter), sans introduire la contrainte de capacité du terminal.

La formulation analytique du modèle est la suivante:

$$\underset{x,z}{Min}\, F(x,z) = \sum_{i\in N}\sum_{j\in H}\sum_{k\in H}\sum_{l\in N} c_{ijkl}\, x_{ijkl} + \sum_{j\in N} f_j z_j$$

$$\sum_{j\in H}\sum_{k\in H} x_{ijkl} = d_{il}, \forall (i,l)\in W,$$

$$\sum_{j\in N} x_{ijkl} \le Q_{il} z_k, \forall k \in H, (i,l)\in W,$$

$$\sum_{k\in N} x_{ijkl} \le Q_{il} z_j, \forall j \in H, (i,l)\in W,$$

$$x_{ijkl} \ge 0, \forall j \in H, \forall k \in H, (i,l)\in W,$$

$$0 \le z_j \le 1, \forall j \in N,$$

$$z_j \in \{0,1\}, \forall j \in N,$$

Où:

- N indique l'ensemble des nœuds qui représentent les terminaux;
- H indique le sous-ensemble des hubs potentiels, qui appartient à N;
- d est le vecteur de demande qui appartient à l'ensemble W des paires de la matrice origine/destination;
- x est la variable de flux sur les arcs ;
- z est une variable égale à 0 si le terminal est inactif et 1 s'il est actif;
- Q_{il} est une constante qui par définition est supérieure ou égale au vecteur de demande d;
- c_{ijkl} est le coût du parcours;
- f_j est le coût nécessaire pour convertir un terminal en *hub*;

En particulier la première contrainte indique que toute la demande doit être satisfaite, le deuxième et le troisième indiquent que deux *hubs* (k et j) sont actifs si le flux qui passe à travers l'autre hub est positif.

Pour tenir compte des économies de distance dans le réseau *hub&spoke* on peut introduire un facteur α compris entre 0 et 1:

$$c_{ijkl} = c_{ij} + \alpha c_{jk} + c_{kl}$$

Cela signifie que le coût unitaire (par rapport à la distance) est inférieur sur les liaisons entre hubs (économie de distance) mais que le coût marginal est constant par rapport à la variation du flux (absence d'économie d'échelle).

Pour tenir compte des économies d'échelle (diminution du coût marginal en fonction de la croissance de la quantité transportée) on peut introduire une segmentation en fonction de la typologie de liaisons (voir figure 4):

- Les liaisons directes, sans passer par un *hub*, ne présentent pas d'économies d'échelle mais des coûts directement linéaires avec la distance;
- Les liaisons entre deux *hubs* présentent des économies d'échelle importantes en raison car la composition des trains est fixe est en conséquence le coût marginal diminue avec l'augmentation du flux dans le*hub*.
- Les liaisons entre un *hub* et la destination finale peuvent aussi présenter des économies d'échelle, même si elles sont mineures par rapport à celles pour les liaisons entre deux *hubs*.

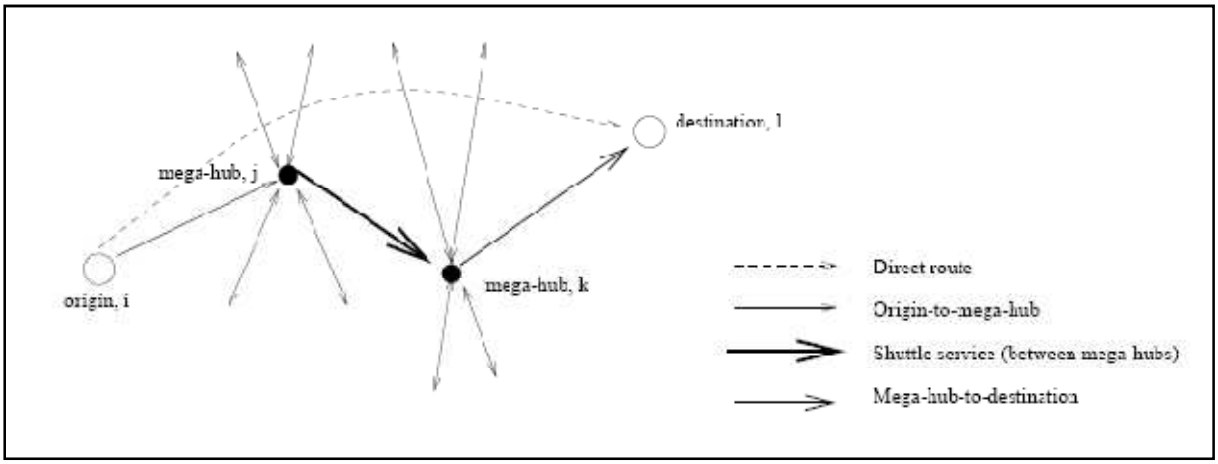


Figure 4 Réseau hub&spoke (source Racunica, Winter)

La fonction objective devient donc:

$$\Psi(x) = \sum_{i\in N}\sum_{j\in H} c_{ij} \sum_{k\in H}\sum_{l\in N} x_{ijkl} + \sum_{j\in H}\sum_{k\in H} c^1_{jk}(x) + \sum_{k\in H}\sum_{l\in N} c^2_{kl}(x)$$

Où $c^1(x)$ et $c^2(x)$ sont des fonctions non linéaires; en conséquence le modèle devient:

$$\underset{x,\hat{x},z}{Min}\, F(x,\hat{x},z) = \Psi(x) + \sum_{(i,l)\in W/H} \hat{c}_{il}\hat{x}_{iill} + \sum_{j\in H} f_j z_j$$

Et la deuxième contrainte devient:

$$\sum_{j\in H}\sum_{k\in H} x_{ijkl} + \hat{x}_{iill} = d_{il}, \forall (i,l)\in W$$

Les autres contraintes restent les mêmes.

Une procédure de calibration sur des valeurs réelles est nécessaire pour calculer l'équation de la fonction de coût non linéaire (figure 5):

$$c^1_{jk} = a^1_{jk}\left(\sum_{(i,l)\in W} \bar{x}_{ijkl}\right)^{0,5} = \bar{c}_{jk} \sum_{(i,l)\in W} \bar{x}_{ijkl}$$

Où:

$\bar{c}_{jk}$ indique le coût associé à la liaison directe entre deux *hubs* j e h qui appartiennent à H;

$\bar{x}_{jk} = \sum_{(i,l)\in W} \bar{x}_{ijkl}$ indique le flux minimum nécessaire pour rendre compétitif un service de navettes entre deux *hubs*;

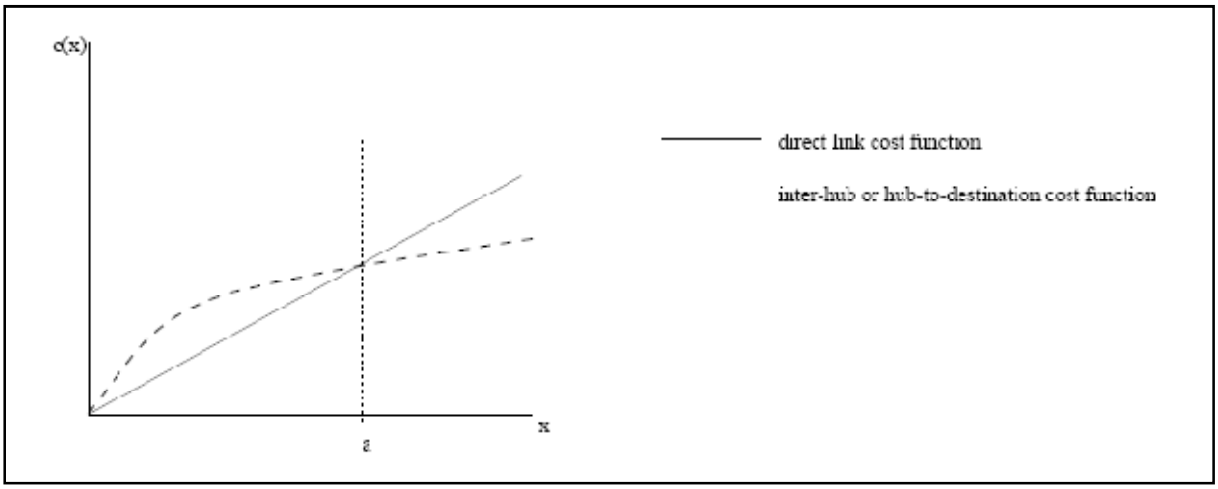


Figure 5 Rapport entre une fonction de coût linéaire et une fonction de coût non linéaire (source Racunica, Winter)

La fonction de coût non linéaire pour une liaison entre deux *hubs* devient:

$$c^1_{jk} = a^1_{jk}\left[\sum_{(i,l)\in W} x_{ijkl}\right]^{0.5} \quad \forall (j,k) \in H^2$$

Et la fonction de coût non linéaire entre un *hub* et la destination finale:

$$c^2_{kl} = a^2_{kl}\left[\sum_{i\in N} \sum_{j\in H} x_{ijkl}\right]^{0.6} \quad \forall (k,l) \in H \times N$$

Dans le deuxième cas l'exposant est supérieur car les économies d'échelle sont inférieures dans les liaisons entre un *hub* et la destination finale.

Un algorithme est aussi proposé par (Racunica, Winter) pour résoudre le modèle.

2.4 Conclusion

Le transport intermodal de marchandises nécessite une modélisation spécifique qui permet de prendre en compte les différents facteurs qui interviennent dans les choix du transporteur et l'organisation de la chaîne de transport.

Les modèles présentés au fil des chapitres I et II présentent souvent une complexité mathématique non négligeable (Combes, 2009) mais la limite principale de ces modèles réside sans doute dans l'absence de données fiables pour l'estimation, le calage et la validation des modèles (chapitre III). Néanmoins, un effort doit être entrepris pour intégrer les principes de la modélisation dans les choix de politiques de transport et dans l'organisation industrielle du transport de marchandises

3 Les bases de données pour l'analyse du transport intermodal de marchandises

3.1 Introduction

L'estimation de la demande de transport de marchandises nécessite plusieurs bases de données compte tenu des liens existants entre le système de production et l'activité de transport. Le chapitre III présente les différentes bases de données disponibles au niveau européen, national et régional, ainsi que les autres sources disponibles (enquêtes spécifiques, statistiques des opérateurs, etc.…).

Le travail de recherche ne vise pas seulement à répertorier les différentes bases existantes mais aussi à montrer leurs possibles utilisations. Pour cette raison le présent chapitre fournit une analyse à la fois qualitative et quantitative des bases de données existantes, en se focalisant sur les avantages et les limites de chaque base de données.

3.2 Les bases des données d'Eurostat

Eurostat est l'Office statistique des Communautés européennes[28], il détient la base de données la plus importante pour les Pays Européens dans la mesure où les statistiques nationales y sont harmonisées selon des procédures spécifiques, ce qui permet de les comparer et de les analyser avec un degré de fiabilité statistique suffisant.

3.2.1 Les tableaux entrées-sorties

D'après le site officiel d'Eurostat[29] :

Le système européen des comptes (SEC 95) a instauré la transmission obligatoire de tableaux du cadre entrées-sorties par les États membres de l'UE. Cette obligation est en vigueur depuis la fin 2002. Elle concerne plus précisément, d'une part, les tableaux annuels des ressources et des emplois et, d'autre part, les tableaux entrées-sorties symétriques quinquennaux, les tableaux entrées-sorties symétriques pour la production intérieure et les tableaux entrées-sorties symétriques pour les importations. Toutes ces données couvrent la période à compter de 1995.

[28] Source : http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/about_eurostat/corporate/introduction

[29] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/esa95_supply_use_input_tables/introduction

De leur propre initiative, certains pays en voie d'adhésion ont d'ores et déjà fourni des tableaux concernant ce domaine.

Le système entrées-sorties comprend des informations détaillées, pour une année donnée, sur les activités de production, l'offre et la demande de biens et de services, la consommation intermédiaire, les entrées primaires et le commerce extérieur.

Les tableaux des ressources et des emplois sont des matrices par secteur et produit qui décrivent, de manière très détaillée, les processus de production et les opérations sur produits de l'économie nationale. Un tableau entrées-sorties symétrique est une matrice produit par produit ou secteur par secteur qui regroupe les ressources et les emplois en un seul tableau dans lequel la classification des produits (ou des secteurs) est identique dans les rangées et les colonnes.

Ces tableaux indiquent entre autres:

** la structure des coûts de production et la valeur ajoutée qui est générée dans le processus de production;*

** les interdépendances des secteurs;*

** les flux de biens et services engendrés à l'intérieur de l'économie nationale et*

** les flux de biens et services avec le reste du monde.*

Cette nouvelle collecte de tableaux entrées-sorties conformes au SEC 95 n'est pas comparable à la précédente série de données qu'Eurostat avait recueillie pour la période allant de 1960 à 1995. Les tableaux sont désormais harmonisés grâce au questionnaire normalisé d'Eurostat qui distingue 60 produits (classification CPA P60) et 60 secteurs (NACE Rév.1 A60).

Compte tenu du fait qu'il s'agit d'un domaine relativement récent du SEC 95, l'existence de différences entre les États membres sur le plan des sources statistiques et des méthodes utilisées est incontestable. Néanmoins, l'adoption de définitions et de classifications communes permet d'ores et déjà de garantir un haut niveau de comparabilité.

Pourtant une analyse plus approfondie de la base de données montre que la disponibilité de tableaux symétriques est très différente d'un pays à l'autre (tableau 1).

Pays	**1995**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**
Allemagne	V	V	(V)	(V)	V	V	V
Autriche	V	V					
Belgique	V	V					
Danemark	V	V	(V)	(V)	(V)	V	
Espagne	V	V					
Estonie		V					
Finlande	V	V	(V)	(V)	(V)	(V)	V
France	V	V	V	V	V	V	V
Gr. Bretagne	V						
Grèce		V					
Hongrie	1998	V					
Irlande		V					
Italie	V	V					
Lettonie	1998						
Lituanie		V					
Luxembourg	V	V	V	V	V	V	V
Malte							
Macédoine							V
Norvège			V	V	V	V	V
Pays Bas	V	V	V	V	V	V	V
Pologne		V					
Portugal	V	1999					V
Roumanie		V			V	V	V
Slovaquie	V	V					
Slovénie		V					
Suède	V	V					V
Tchéquie		V					
Turquie				V			

Notes

V = tableau symétrique disponible pour l'année indiquée

(V) = tableau symétrique non comparable avec les autres années

1998 indique l'année disponible aux alentours de l'année indiquée

Tableau 1 Analyse comparative de la disponibilité des tableaux entrées-sorties à partir de la base de données Eurostat (source Eurostat)

En outre, souvent les tableaux sont mesurés en utilisant la monnaie nationale, ce qui complexifie énormément leur mode d'emploi.

Cependant, les possibles applications des tableaux entrées-sorites sont nombreuses[30].

3.2.2 Comext

Comext est la base de données Eurostat du commerce extérieur.

D'après le site officiel d'Eurostat[31] :

Les statistiques du commerce extérieur couvrent toutes les marchandises échangées par les États membres de l'UE, les pays candidats et les pays de l'AELE avec tous les pays partenaires (y inclus les États membres de l'UE).

Les informations suivantes sont disponibles :

** marchandises, présentées selon plusieurs classifications (NC8, SH, CTCI, BEC, NSTR),*

** flux (importations, exportations et balance),*

** période de référence,*

** pays déclarant (États membres de l'UE, pays candidats, pays de l'AELE) ou zone géoéconomique déclarante,*

** pays partenaire (États membres de l'UE ou pays tiers) ou zone géoéconomique partenaire,*

** mode de transport,*

** régime tarifaire,*

** indicateurs: valeur exprimée en euros ou en monnaie nationale, quantité en tonnes et, pour certains produits, quantité exprimée dans d'autres unités (articles, paires, hectolitres, etc.), valeur désaisonnalisée et corrigée des jours ouvrables, indices de valeur unitaire et de volume.*

Les périodes suivantes sont couvertes:

** statistiques annuelles de 1976 à 1987,*

** statistiques mensuelles et annuelles à partir de 1988.*

En réalité les données avec classification NSTR sont disponibles seulement pour le commerce extra-UE, alors que les données relatives au commerce intra-UE sont disponibles avec les classifications suivantes[32] :

[30] Un répertoire intéressant des possibles applications des tableaux entrées-sorties est disponible dans: « Eurostat Manual of Supply, Use and Input-Output Tables » Office for Official Publications of the European Communities, 2008. ISBN 978-92-79-04735-0 ISSN 1977-0375

[31] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/external_trade/introduction

- NC8 : Nomenclature Combinée ;
- SH : Systèmes Harmonisé ;
- CTCI : Classification Type pour le Commerce International ;
- BEC : *Broad Economic Category*, nomenclature officielle des Nations Unies.

La nomenclature combinée permet en effet de rapprocher les statistiques des produits par activité (CPA[33]) avec les statistiques de transport (NSTR[34]).

Pourtant une analyse plus fine des nomenclatures montre bien la limite de cet exercice et la nécessité de procéder à la création d'une base de données avec nomenclature spécifique selon les besoins (voir par. 3.1).

3.3 La base des données SitraM

SitraM[35] est la base de données du Service statistique du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer pour le transport de marchandises.

D'après le site du Ministère[36] :

La base SitraM fournit des données de flux de marchandises annuelles selon le mode de transport, la nature des marchandises, l'origine et la destination :

- transport national et international pour les modes terrestres (route, rail, voies navigables intérieures),

- transport international des marchandises quel que soit le mode (terrestre, aérien, maritime).

La nomenclature utilisée est la NSTR On s'intéresse ici à l'analyse des chaînes de production à partir de cette base plutôt qu'à son contenu.

---

[32] Pour approfondir le sujet des nomenclatures statistiques :
- http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/ est la base de données Eurostat spécifique pour les nomenclatures statistiques ;
- http://stats.oecd.org/glossary/ fournit un glossaire des nomenclatures statistiques les plus courantes.

[33] CPA : "Classifications of Products by Activity" est la nomenclature type des tableaux entrées-sorties.

[34] NSTR : est la nomenclature statistique de transport.

[35] SITRAM : Système d'information sur les transports de marchandises

[36] http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=401

3.3.1 Correspondance NACE Rev.2[37] - NSTR

Pour analyser la relation entre chaînes de production et transport de marchandises, il est nécessaire de procéder à une analyse assez fine des bases de données disponibles et des classifications statistiques employées.

La nomenclature combinée (NC) utilisée par Eurostat ne permet pas en effet de regrouper les produits et les marchandises de façon efficace, ce qui rendrait l'analyse trop complexe.

Par ailleurs, l'utilisation d'une correspondance spécifique entre nomenclatures différentes limite fortement l'utilisation de cette correspondance dans d'autres contextes.

Il s'agit en conséquence de compenser d'une part les besoins spécifiques avec d'autre part la standardisation nécessaire dans l'utilisation des bases de données.

Le tableau 2 montre la correspondance proposée par l'auteur entre statistiques d'activités (NACE Rev.2) et statistiques de transport (NSTR).

Nace Rev. 2	**NSTR**
B05 Extraction houille et lignite	**2 Combustibles minéraux solides**
051 houille	*21 houille*
052 lignite + (B0892 tourbe)	*22 lignite et tourbe*
B06 Extraction d'hydrocarbures	**3A Produits pétroliers bruts**
061 pétrole brut	*31 pétrole brut*
062 gaz naturel	*33 hydrocarbures énergétiques gazeux, liquéfiés ou comprimés*
B07 Extraction minerais métalliques	**4 Minerais et déchets pour la métallurgie**
071 minerais de fer	*41 minerais de fer*
072 minerais non ferreux	*4B (45) minerais et déchets non ferreux*
B08 Autres industries extractives	**6 Minéraux bruts ou manufacturés et matériaux de construction**
081 pierres, sables, argile	*61 sables, graviers, argiles, scories +63 autres pierres, terres et minéraux*
C10 Industries alimentaires	**1 Denrées alimentaires**
101 viandes + 102 poissons + 105 produits laitiers	*14 denrées alimentaires périssables ou semi-périssables et conserves*
103 fruits et légumes	*02 pommes de terre+ 03 autres légumes frais ou congelés et fruits frais + (164 – 167)*
104 huiles	*18 oléagineux*
106 travail de grains + 107 pains/pates	*16 denrées alimentaires non périssables et houblon (161-163)*

[37] NACE Rev. 2: "Statistical classification of economic activites in the European Community" est la nomenclature relative aux activités économiques qui est en correspondance avec la nomenclature CPA dans les tableaux entrées-sorties.

109 aliments pour animaux	*17 nourriture pour animaux et déchets alimentaires*
Nace Rev. 2 (continuation)	**NSTR (continuation)**
C11 Fabrication de boissons	*12 boissons*
C12 Fabrication de produits à base de tabac	*13 stimulants et épicerie (134-135)*
C13 Fabrication de textiles	*04 matières textile et déchets*
C14 Industrie d'habillement + C15 Industrie du cuir et de la chausse	*96 cuirs, textiles, habillement*
C16 Travail du bois	*05 bois et liège*
C17_C18 Industrie du papier et du carton, imprimerie	*97 articles manufacturés divers* *84 cellulose et déchets*
C19 Cokéfaction et raffinage *191 Cokéfaction* *192 Raffinage du pétrole*	 *23 coke* *32 dérivés énergétiques + 34 dérivés non énergétiques*
C20_C21 Industrie chimique et pharmaceutique + C22 Caoutchouc et plastique	**6B Matières premières pour l'industrie chimique + 7 Engrais + 8A Produits chimiques de base + 8C Autres produits chimiques**
C23 Autres produits minéraux non métalliques *231 verres + 232 produits réfractaires + 233 terres cuite + 234 céramiques* *235 ciments, chaux, plâtre* *236 ouvrages en latérés* *237*	 *95 verres, verrerie, produits céramiques* *64 ciments, chaux + 65 plâtre* *69 autres matériaux de construction manufacturés*
C24 Métallurgie *241 sidérurgies* *242 tubes, tuyaux,…* *243 transformations de l'acier + 245 fonderie* *244 métaux précieux et non ferreux*	**5A Produits métallurgiques ferreux** *51 fonte et aciers bruts, ferro-alliages* *55 tubes, tuyaux, moulages et pièces forgées de fer ou d'acier* *52 demi-produits sidérurgiques laminés + 53 barres, profilés, matériel de voie ferrée + 54 tôles, feuillards et bandes en acier* **5B Produits métallurgiques non ferreux**
C25 Produits métalliques	*94 articles métalliques*
C26_C27 Produits informatiques électroniques et optiques + C28 Machines	*93autres machines, moteurs et pièces*
C29_C30 Industrie automobile et navale	**9A Matériel de transport et matériel agricole**
C31_C32 Meubles et autres	*97 articles manufacturés divers*

Tableau 2 Correspondance proposée entre la nomenclature NACE REV.2 et la nomenclature NSTR

La correspondance a été établie en prenant en compte le niveau « groupe » de la nomenclature NSTR.

La correspondance est assez évidente, sauf pour le chapitre 9 (machines, véhicules, objets manufacturés et transactions spéciales) qui pose de nombreux problèmes en raison de sa définition trop vaste, notamment en ce qui concerne la section 9D de la NSTR (autres articles manufacturés) et le groupe 97 de la CPA (articles manufacturés divers).

L'hypothèse à la base de cet exercice est que chaque activité économique produit un seul type de produit, ce qui est pris comme hypothèse aussi dans les tableaux entrées-sorties, mais qui ne correspond pas forcément à la réalité.

3.3.2 La relation entre activité économique et transport

Il reste à démontrer le fait qu'il existe une relation directe entre les flux de transport générés par un territoire et l'activité économique implantée sur ce même territoire.

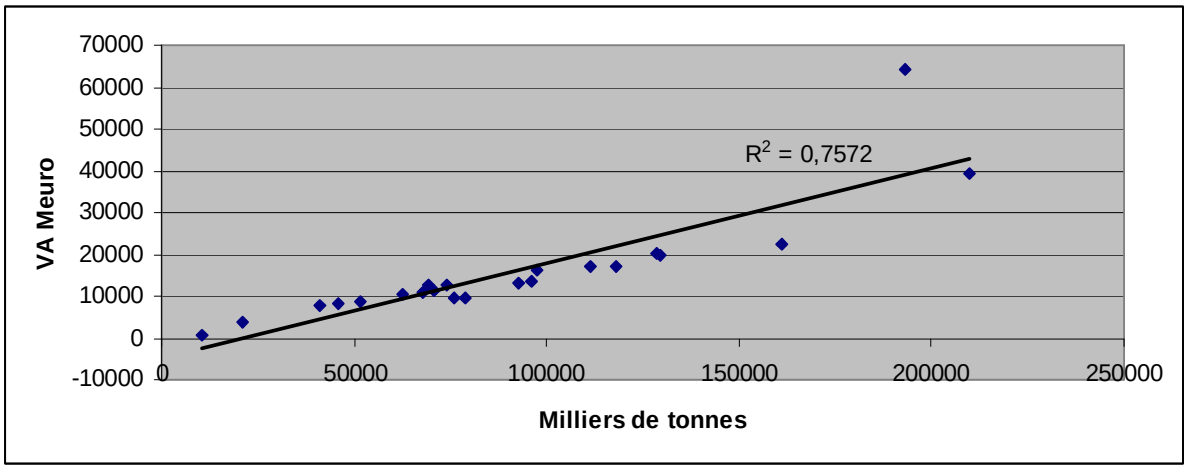


Figure 6 Relation entre activité économique et transport de marchandises pour les régions françaises en 2004 (source : base de données SITRAM pour le transport de marchandises et INSEE pour la valeur ajoutée régionale hors commerce, transport et services)

La figure 6 montre bien que la relation entre ces deux variables est assez forte toutes activités économiques confondues.

Il reste à évaluer la relation existant entre le nombre d'établissements sur un territoire et les tonnes émises et reçues par ce même territoire.

La relation est d'autant plus importante que le nombre d'établissements est la seule variable disponible à un zonage très fin. Tel est le cas du canton, de la commune, voire d'un arrondissement (figure 7).

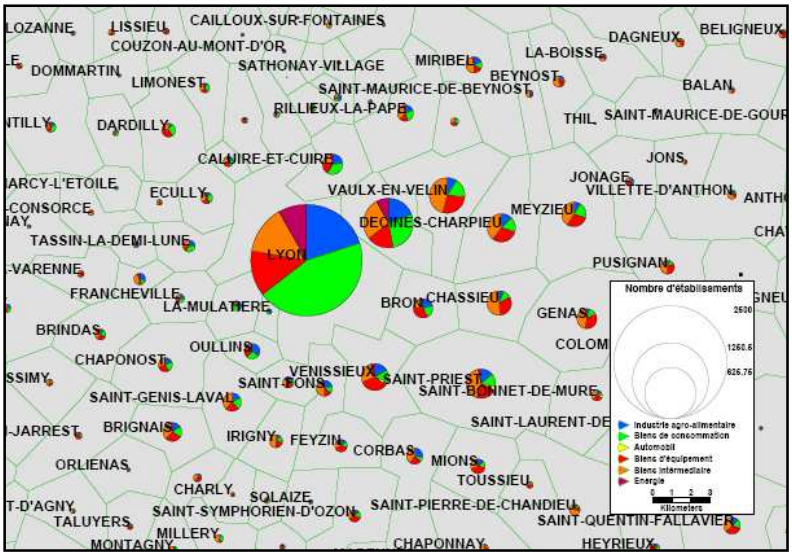


Figure 7 Nombre d'établissements par commune et secteur d'activité dans la zone de Lyon (source : INSEE 2004 élaboré avec Transcad®)

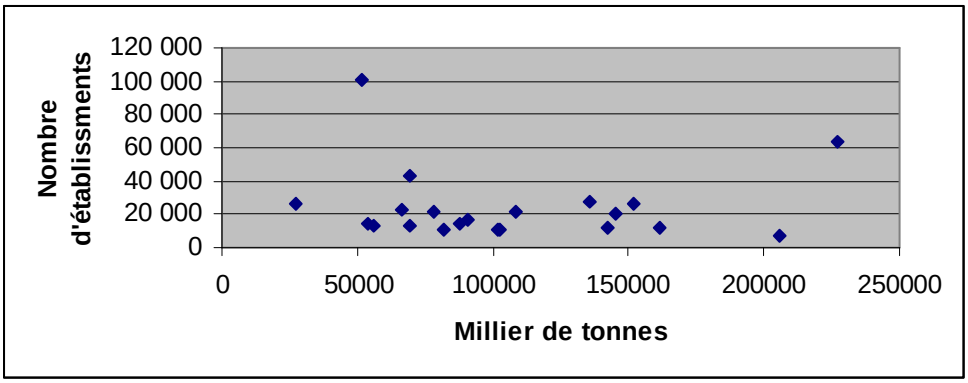


Figure 8 Relation entre le nombre d'établissements et les tonnes transportées par région française (source INSEE 2006 pour le nombre d'établissements et SITRAM 2006 pour les tonnes transportées)

Pourtant, cette relation n'est pas évidente à première vue, comme la figure 8 le montre.

Même si des approches statistiques plus performantes peuvent être appliquées (décomposition par secteur d'activité et segmentation par tranche de salarié), le résultat montre la limite des statistiques disponibles pour l'estimation de la demande de transport de marchandises.

3.4 Les bases des données relatives au transport ferroviaire

La modélisation de l'offre ferroviaire pour la France repose sur les bases de données propres à RFF, en tant que gestionnaire du réseau ferré national, et à la SNCF, en tant que gestionnaire délégué de l'infrastructure et principal opérateur ferroviaire.

Même si la séparation juridique entre gestionnaire d'infrastructure et opérateur ferroviaire date de 1997, plusieurs difficultés subsistent en termes de compatibilité entre les deux bases de données.

Il s'agit en particulier d'un problème de compatibilité informatique entre les S.I.G.[38] des deux établissements et de la disponibilité limitée des bases de trafics de la SNCF, compte tenu du caractère confidentiel des ces informations pour un opérateur sur le marché.

Ce même problème concerne encore plus les opérateurs de transport combiné, qui n'ont aucune obligation légale de transmission des données de trafic, sauf dans le cadre du dispositif dit « d'aide à la pousse » géré par le MEEDDM[39].

Les données de trafics détaillées de la base SITRAM relatives au transport ferroviaire40sont donc très approximatives selon la source même du Ministère[41].

Pour le transport combiné, la situation est encore plus précaire, compte tenu du fait qu'il s'agit d'une combinaison de modes de transport, alors que les statistiques disponibles sont toujours relatives à une seule modalité de transport, ce qui se traduit par l'impossibilité de connaître l'origine et la destination exacte de la marchandise qui utilise cette modalité.

3.4.1 L'application Réseau

L'application Réseau fournit la description physique du réseau ferré national à travers une base de données géo-référencée.

D'après la SNCF[42] :

RÉSEAU a pour objectif la description du réseau ferré national et de ses caractéristiques. C'est aujourd'hui une base nationale de référence pour toute l'entreprise SNCF et pour RFF qui en est copropriétaire. L'enjeu récurrent est triple : produire des données fiables, exhaustives et à jour.

RÉSEAU est organisé en thèmes :

- *le réseau des lignes et ses caractéristiques linéaires (statut, groupe UIC, …),*

[38] Un système d'information géographique (S.I.G) est un outil informatique permettant d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et cartes (source Wikipedia).

[39] MEEDDM : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.

[40] Désormais les données de la base SitraM relatives au transport ferroviaire ne concernent plus seulement la SNCF mais aussi les autres opérateurs privés, qui détiennent en moyenne 9% de parts de marché en tonnes-km, pourcentage, en constante progression depuis l'ouverture à la concurrence en 2006 (source CCNT 2008).

[41] « *Les statistiques concernant le transport combiné (transport de conteneurs) et la ventilation par NST des marchandises ferroviaires présentées dans cette fiche sont donc des estimations basées sur des volumes globaux et un suivi monographique des marchés des différents opérateurs, réalisé notamment par la Mission de contrôle des activités ferroviaires. La veille économique de ces marchés permet de dresser un constat qualitatif mais les statistiques proposées sont approximatives* » (source CCNT 2008).

[42] Plaquette descriptive de l'application Réseau (dernière mise à jour Octobre 2006), consultation interne.

- *le réseau des voies de lignes et ses caractéristiques linéaires (sens de circulation, groupe UIC, particularités d'exploitation)*
- *les secteurs d'activité ferroviaire (SAF) (gare, triage, chantier, …),*
- *les installations (PN, poste, sous-station, pont, accès aux emprises, …),*
- *les localisateurs (SAAT),*
- *les points remarquables (PR),*
- *la segmentation de gestion,*
- *les sections d'accès au réseau (SAR) ou segmentation de tarification,*
- *l'organisation de l'activité Infrastructure (structures et compétences).*

A partir de cette base, il existe plusieurs applications qui concernent soit la maintenance de l'infrastructure (ex. plages travaux), soit l'exploitation (ex. tracé des sillons, suivi des trafics).

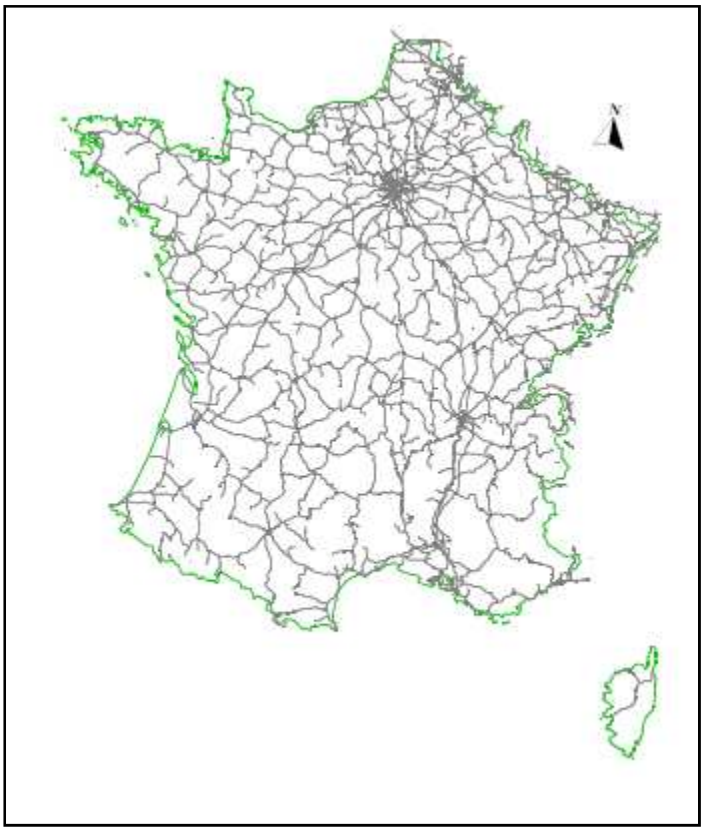


Figure 9 Carte du réseau ferré national (source : RGI-RFF élaboré avec Transcad®)

3.4.2 L'analyse des sillons fret

Si on s'intéresse ici à la problématique des sillons[43] fret, c'est parce que leur estimation peut remettre en cause les résultats des études de trafics fret, notamment dans le cas des études relatives aux projets des nouvelles lignes.

Il s'agit tout d'abord d'introduire le concept de jour ouvrable de base (JOB) pour comprendre l'impact que cela peut avoir dans la prévision de la demande de transport.

Le concept de jour ouvrable de base permet de rapporter à une unité standard le nombre des circulations relatives à une période précise (une semaine, une année) qui présentent un caractère variable dû à la fluctuation du trafic.

E. Exemple de calcul de jour ouvrable de base (JOB) sur l'année

T1 *indique la charge moyenne des trains en tonnes;*
T2 *indique le nombre de JOB par an ;*
R *indique le rapport moyen entre sillons réservés et sillons circulés;*
V *indique la demande potentielle annuelle en tonne issue de l'estimation de trafic ;*

D'où :
X=V/T1 *détermine le nombre de trains par an ;*
X/T2 *détermine le nombre de trains par JOB ;*

Pour calculer le nombre de sillons il suffit de résoudre l'équation suivante :

$$(X*R)/T2 = (V*R)/(T1*T2)$$

L'impact de cette variable est loin d'être négligeable, car elle peut remettre en cause l'estimation de la capacité totale d'un axe et en conséquence la procédure d'affectation[44].

En particulier, dans le cas du transport ferroviaire fret, le facteur R (coefficient de réservation des sillons) pèse beaucoup dans le résultat final, compte tenu de la très grande fluctuation des trafics.

Pour estimer correctement cette variable il faut comparer les circulations réservées avec les circulations réelles pour une période donnée, à l'aide des applications suivantes :

1. HOUAT (HOraires Utiles A Tous) qui correspond à la base sillon THOR ;
2. BREHAT qui correspond à la base trafic de la SNCF ;

[43] En transport ferroviaire, un sillon horaire ou créneau horaire est un élément du graphique de circulation correspondant au tracé horaire d'un train sur une ligne donnée (source Wikipedia).
[44] Souvent la contrainte de capacité est évoquée dans les études de trafic, notamment dans le cas des traversés alpines ou des agglomérations urbaines. Une analyse plus fine des ces études montre souvent la limite des approches utilisés dans l'estimation de la capacité résiduelle et l'impact que cela peut avoir sur la procédure d'affectation des trafics.

Plusieurs analyses de ce type montrent que le taux de réservation des sillons fret est d'environ 1,2[45].

L'analyse de l'offre de sillons est aussi très utile pour connaître la part des nouvelles entreprises ferroviaires dans le transport de fret (figure 10).

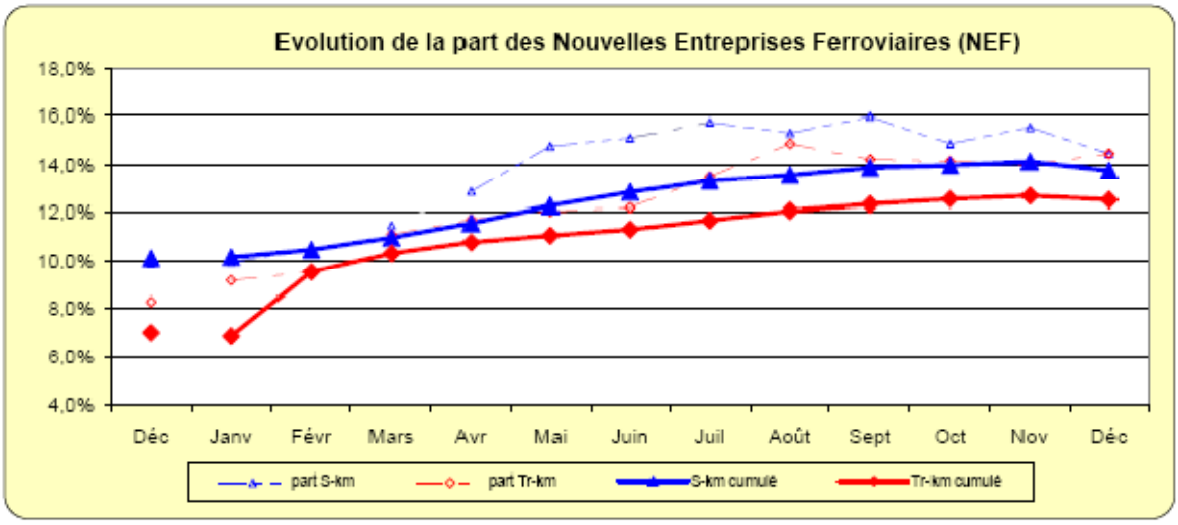


Figure 10 Evolution de la part des nouvelles entreprises ferroviaires (NEF) en sillons-km et trains-km pendant l'année 2009. (source : Tableau de bord du Pôle Commercial RFF).

3.5 Les enquêtes Transit et ECHO

Les enquêtes de trafics sont souvent très importantes pour l'analyse et la modélisation du transport de marchandises car les statistiques officielles ne permettent pas une analyse assez détaillée du phénomène.

La limite majeure des enquêtes demeure dans leur caractère aléatoire relativement à plusieurs aspects :

1. Le niveau géographique est très varié : plusieurs enquêtes concernent des territoires restreints[46] ou au contraire très vastes sans pourtant atteindre la fiabilité statistique nécessaire pour constituer une base de données exploitable[47].
2. La fréquence: souvent les enquêtes dépendent du financement des organismes concernés et en conséquence elles ne sont pas réalisées régulièrement[48].

[45] Ce qui signifie que pour 12 sillons réservés seulement 10 trains circulent en moyenne (source : Analyse des circulations fret à l'aide des systèmes HOUAT et BREHAT. Note interne RFF)

[46] Notamment les enquêtes sur les filières logistiques, les pôles de compétitivité mais aussi les enquêtes financées par les collectivités territoriales (régions, départements,…)

[47] Tel est le cas de l'enquête ECHO qui concerne tout le territoire national avec une grande dispersion des données selon la zone géographique ; et aussi de plusieurs études européenes.

3. La diffusion est souvent limitée dans le domaine de la recherche et les données ne sont pas toujours exploitées[49].

Pourtant les enquêtes sur le transport de marchandises demeurent fondamentales alors que les statistiques officielles ne traitent qu'une partie très limitée des variables qui déterminent le choix de transport.

3.5.1 L'enquête Transit

L'enquête Transit fait partie de l'enquête CAFT (Cross Alpine Freight Transport Survey) qui concerne les flux terrestres de marchandises à travers les Alpes[50].

L'intérêt de cette enquête est lié à son caractère international, car elle permet d'avoir des données très détaillées sur les trafics transalpins.

Les données relatives au transport routier de marchandises présentent un taux de sondage[51] très faible (voir tableau 3), alors que les données ferroviaires concernent la totalité des flux.

Cross Section	National Road No.	Boarder / Location	Vehicle per year	Sample Size	Rate (%)
Ventimiglia	A 8	F R/ IT	1345000	7501	0,55769517
col du Montgenèvre	N 94	F R/ IT	31000	428	1,38064516
Fréjus tunnel	N 6	F R/ IT	1131000	6830	0,60389036
Mont-Blanc tunnel	N 205	F R/ IT	353000	3883	1,1
Gd. St. Bernhard	E 27	CH / IT	65000	968	1,48923077
Simplon	A 9	CH (*)	67000	718	1,07164179
Gotthard	A 2	CH (*)	969000	16440	1,69659443
San Bernardino	A 13	CH (*)	154000	2698	1,75194805
Reschenpass	B 315	AT/IT	135000	745	0,55185185
Brenner	A 13	AT/IT	1996000	9913	0,49664329
Tarvisio	A2	AT/IT	1404000	1887	0,13440171
Felbertauern	B 108	AT(*)	82000	222	0,27073171
Tauern	A 10	AT(*)	941000	3100	0,32943677
Schoberpass	A 9	AT(*)	1281000	2260	0,17642467
Semmering	S 6	AT(*)	528000	1066	0,20189394
Wechsel	A 2	AT(*)	988000	2196	0,22226721
Total			11470000	60855	0,53055798

Tableau 3 Taux de sondage de l'enquête CAFT 2004 pour le transport routier aux passages alpins (source www.processus-de-zurich.org)

[48] Tel est le cas à nouveau de l'enquête ECHO réalisée en 1988 (enquête Chargeur), 1998 (pour la seule région Nord Pas de Calais) et 2004, et aussi pour l'enquête Transit CAFT réalisée en 1994,1999, 2004 et 2009.

[49] Il s'agit à nouveau d'un problème commun à plusieurs types d'enquêtes : alors qu'une grande partie du financement est épuisée dans la réalisation de l'enquête et le traitement des données, il ne reste plus d'argent pour financer la modélisation à partir des données récoltées.

[50] Voir l'encadré « L'enquête CAFT, source et méthode d'exploitation » dans SAMBLAT P. (2006) « Le transport de Marchandises à travers les Alpes, principales mutations au cours des dix dernières années » Notes de synthèse du SESP N° 163.

[51] Le taux de sondage traduit la part de la population de base qui est interrogée lors d'une enquête et qui fait donc partie de l'échantillon. Le taux de sondage est égal à : (taille de l'échantillon / taille de la population de base) X 100. De toute façon, si on suppose que la distribution de la population enquêtée est normale, la fiabilité statistique ne dépend pas du taux de sondage mais plutôt de la taille de l'échantillonnage.

3.5.2 L'enquête ECHO

L'enquête ECHO (Envois CHargeurs Opérateurs) a été mise en place par l'INRETS[52] pour analyser les liens entre demande de transport et activité de production et commerce.

Les deux spécificités de ces enquêtes sont[53] :

** d'une part qu'elles établissent le lien entre la demande de transport et les caractéristiques économiques des chargeurs ;*

** et d'autre part qu'elles assurent le suivi des envois, depuis l'expéditeur jusqu'au destinataire, alors que les données classiques, collectées par mode, ne renseignent que sur un trajet, sans possibilité de suivre la marchandise lorsque celle-ci a recours successivement à plusieurs véhicules. Le cheminement physique des produits, mais aussi son organisation et les déterminants de cette dernière sont ainsi renseignés.*

Du point de vue de la modélisation les données de l'enquête ECHO sont très intéressantes pour pouvoir analyser le choix modal des chargeurs dans le transport de marchandises et notamment pour vérifier la validité de la théorie du coût total logistique dans les entreprises françaises.

Pourtant une analyse plus fine des données disponibles montre la limite de cette démarche :

1. En premier lieu, parce que la disponibilité des variables diminue fortement pour les paramètres plus sensibles comme la valeur de la marchandise et le prix payé pour l'envoi;
2. En deuxième lieu, parce que pour chaque établissement le nombre d'envois recensé a été limité à trois[54], ce qui restreint fortement la possibilité de caler une fonction non-linéaire ;
3. En troisième lieu, parce que les choix de mode de transport autres que la route sont très peu représentés en valeur absolue (figure 11).

[52] Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.
[53] Source : http://www.inrets.fr/ur/dest/collaborations/echo.htm
[54] Et souvent il s'agit d'envois avec les mêmes caractéristiques ou alors les données sont manquantes.

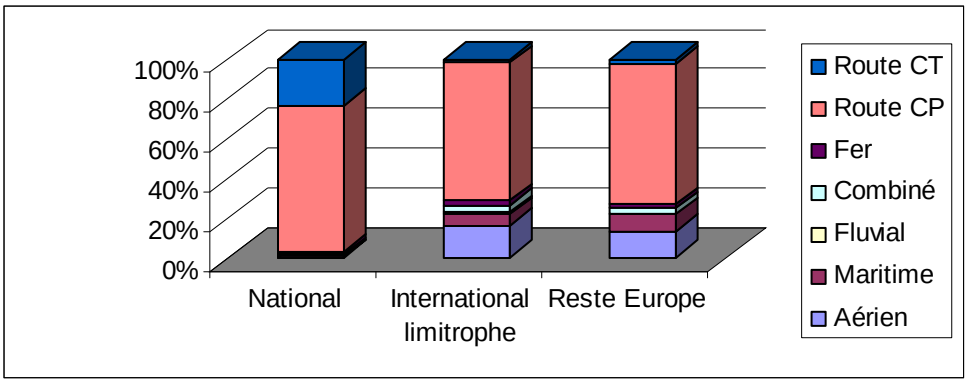


Figure 11 Représentation des modes de transport par envoi dans l'enquête ECHO 2004 (source : enquête ECHO 2004)

Néanmoins peu d'enquêtes de ce type existent aujourd'hui et leur généralisation aidera sans doute à mieux comprendre les choix logistiques et de transport des chargeurs.

3.6 Conclusion

L'analyse des bases de données existantes montre les nombreuses limites et difficultés relatives à la modélisation de la demande de transport de marchandises. Les base des données ont été souvent conçues avec des objectifs très différents par rapport à l'estimation de la demande de transport de marchandises (tableaux entrées-sorties, Comext) ou à l'inverse trop spécifiques (enquête Transit et Echo).

Parmi les deux approches, la base SitraM du Ministère des Transports, reste toujours un outil assez performant pour la modélisation de la demande de transport de marchandises en France, même si certains aspects sont toujours à améliorer (intégration de nouveaux paramètres, prise en compte des chaînes de transport multimodales,…).

Compte tenu des objectifs de ce travail de recherche, l'analyse suivante reposera principalement sur cette base des données, complétée, si possible, par des données issues de différentes sources complémentaires (données des opérateurs, enquête sur le terrain, etc.).

4 La gestion des chantiers de transbordement rail-route en France : une problématique de rationalisation et de gouvernance[55]

4.1 Introduction

Un des objectifs du Grenelle de l'Environnement est le doublement du transport combiné d'ici à 2012: passage de 9 GTK à 18 GTK[56]. Cet objectif est loin d'être atteint au regard de l'évolution à la baisse du transport combiné sur les dix dernières années[57].

La solution proposée par l'auteur consiste à mettre en place une stratégie de rationalisation des flux de marchandises à travers les terminaux intermodaux[58] qui pourrait répondre à différents types de contraintes :

- Sur le plan de la politique de transport il s'agit de développer le transport ferroviaire de marchandises pour réduire les nuisances provoquées par le transport routier de marchandises. L'application au cas du transport combiné a été choisie car il s'agit d'une modalité de transport assez performante par rapport au transport ferroviaire conventionnel[59] ;
- Sur le plan de l'aménagement du territoire il s'agit de garantir une bonne accessibilité aux territoires à travers l'implantation de chantiers de transbordement rail-route tout en limitant les nuisances pour les riverains[60] ;
- En même temps il est nécessaire de garantir une bonne efficacité économique au système du transport combiné qui est toujours confronté à la concurrence très puissante du transport routier de marchandises.

[55] Ce chapitre a été publié dans la revue Transports n°461, mai-juin 2010 (Antoniazzi, 2010).
[56] Voir le rapport du groupe 1 du Grenelle de l'Environnement, page 64.
[57] Voir la section 2.
[58] Terminal intermodal est un terme plus générique pour définir tous types de chantiers de transbordement (rail-route, rail-fleuve, route-fleuve, terminal conteneur maritime, etc.).
[59] Le transport ferroviaire conventionnel concerne le train complet et le wagon isolé : le premier est le plus performant en terme économique mais son développement est très limité par les contraintes relatives au type de marchandise (flux massifiés de certains produits) et à la localisation des établissements industriels (disponibilité d'embranchements ferroviaires à côté de l'usine). Le wagon isolé est au contraire plus difficile à rentabiliser car la mise en place nécessite d'une lourde organisation.
[60] La plupart des chantiers de transbordement sont implantés dans des zones urbaines (par exemple Vénissieux dans l'agglomération lyonnaise) pour des raisons historiques : aujourd'hui ils sont confrontés à l'opposition des riverains en raison des nuisances provoquées par le trafic (bruits, éclairage, etc.) et en même temps il est impossible d'élargir les surfaces pour faire face au développement du trafic.

Le critère de l'efficacité économique demeure par conséquent essentiel dans la configuration d'un système de transport combiné performant. Le choix du nombre et de la localisation des chantiers de transbordement est d'autant plus important que l'exploitation des chantiers représente une part non négligeable des coûts fixes pour un opérateur de transport combiné.

Un deuxième aspect à retenir est celui de l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire fret. Les textes européens ont déterminé l'ouverture à la concurrence dans le but de développer le transport ferroviaire en favorisant sa performance[61]. Pourtant l'ouverture à la concurrence des chantiers de transbordement rail-route a souvent été marginale dans le débat[62]. Le résultat est que chaque pays a été libre de mener une politique très différente sur la question des chantiers de transbordement. La France a intégré les chantiers de transbordement dans le périmètre de Réseau Ferré de France qui a confié leur gestion aux opérateurs intermodaux, alors que les gares de triage font toujours partie du périmètre de la SNCF. La question est loin d'être négligeable dans le cadre des réflexions sur l'ouverture à la concurrence et l'amélioration des performances du transport ferroviaire de marchandises.

Le chapitre analyse le cas du transport combiné rail-route[63] en France (section 2), en tenant compte du rôle des acteurs du système (section 3). La section 4 propose une comparaison internationale avec trois pays :

1. l'Allemagne, qui garantit une ouverture à la concurrence de ces terminaux par l'intermédiaire d'une société de gestion intégrée au gestionnaire d'infrastructure national ;
2. l'Italie, dont la situation était identique à celle de la France jusqu'à 2008, et qui a créé une société de gestion unique comme en Allemagne ;
3. la Suisse, qui n'appartient pas à l'Union Européenne, mais qui a su mettre en place une politique de transport ambitieuse, également dans le cas des terminaux intermodaux.

La section 5 analyse le choix du nombre et de la localisation des chantiers de transbordement sur le territoire français par rapport aux trafics nationaux et internationaux.

[61] Il y a de nombreuses références traitant de l'ouverture à la concurrence du fret ferroviaire, parmi lesquelles le Livre Blanc sur le Transport constitue la référence de base : CE *La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix*, Luxembourg: Office des publications officielles des Communautés européennes, 2001.

[62] Sur le sujet, une contribution intéressante pour la France est celle de REYNAUD C. « Cinq questions sur les terminaux intermodaux de marchandises » *Transport Environnement Circulation*, 1/1995.

[63] La définition du transport combiné est la suivante: transport intermodal dont les parcours principaux, en Europe, s'effectuent par rail, voies navigables ou mer et dont les parcours initiaux et/ou terminaux, par route, sont les plus courts possibles (source UN/ECE). Ici on s'intéresse en particulier au transport combiné rail-route ou ferroutage (transport de caisses mobiles, conteneurs ou semi-remorques), mais pas à l'autoroute ferroviaire (transport de véhicules complets sur les trains) car il s'agit d'un nouveau produit de transport qui reste pour l'instant très minoritaire en termes de trafic.

L'objectif est d'examiner si la dotation et la localisation actuelle des chantiers de transbordement répond à des logiques économiques performantes et de donner des indications sur la politique à suivre pour le gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire.

4.2 Le transport combiné rail-route en France

La fin de l'année 2008 a été marquée par les effets de la crise économique et financière qui ont aussi affecté le transport de marchandises[64]. Le transport combiné n'échappe pas à cette tendance[65], alors qu'il avait connu des tendances à la hausse pendant toute l'année 2007[66]. Le graphique de la figure 1 montre que la part du combiné sur le trafic fret total reste toujours très faible[67] (figure 12) et son évolution montre une tendance assez marquée à la baisse en France depuis 2000 (figure 13).

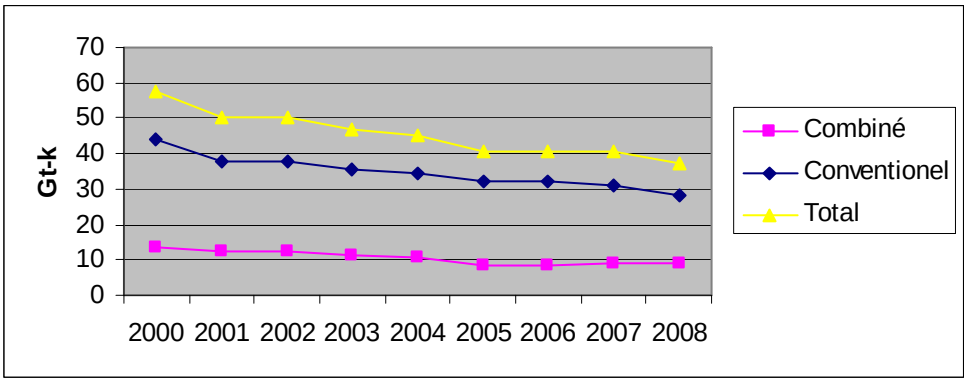


Figure 12 Le transport combiné et conventionnel à la SNCF (source : MEDAD)

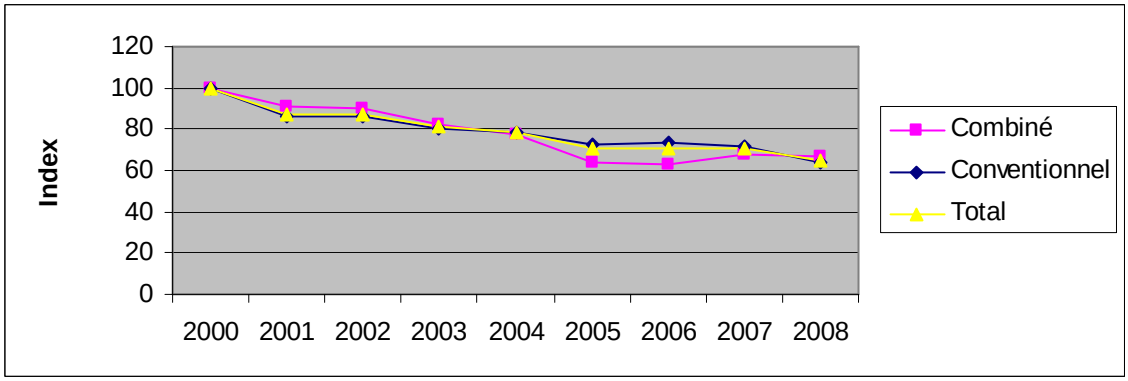


Figure 13 Evolution des tonnes-km du transport combiné et conventionnel à la SNCF (source : MEDAD)

[64] En 2008, par rapport à 2007, le transport intérieur terrestre de marchandises a baissé de 4,8% en tonnes-km : la baisse a été de 4,6% pour le transport ferroviaire et de 4,9 pour le transport routier (source CNT 2008).
[65] En 2008, par rapport à 2007, le transport combiné a baissé de 8,7% en tonnage et de 11% en tonnes-kilomètre.
[66] En 2007, par rapport à 2006, le transport combiné avait augmenté de 11% en tonnage et de 8,3% en tonnes-kilomètre.
[67] La part du combiné dans le trafic fer total était de 15% en tonnage et 25% en tonnes-kilomètre (source : CNT 2008, calcul propre). La part du combiné dans le trafic fer international (bilatéral + transit) est beaucoup plus important : en 2005 elle était d'environ 60% (source ADEME).

Les trafics sont concentrés sur des axes nord-sud, comme illustré par la carte des sillons[68] de transport combiné (figure 14).

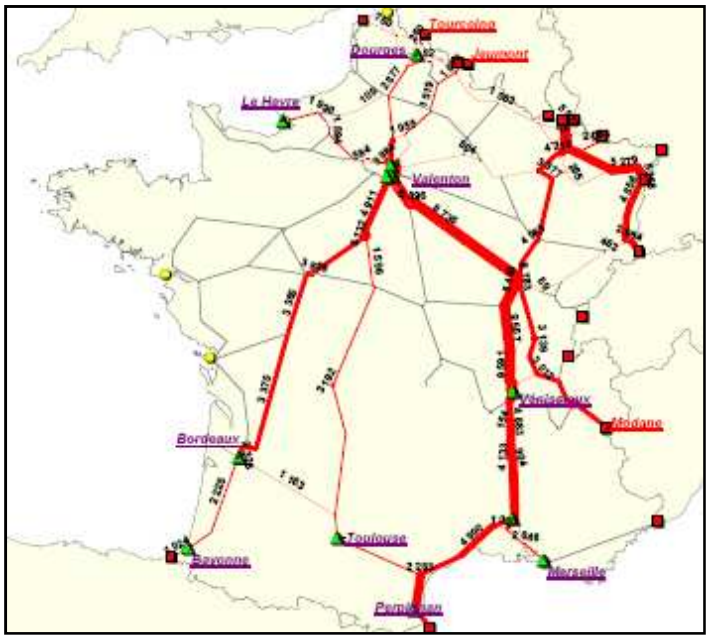


Figure 14 Les sillons de transport combiné en 2007 (source RFF)

En particulier, il s'agit des axes suivants :

- Axe Nord – Sud-est : Le Havre / Dourges – Paris – Dijon – Lyon – Avignon – Perpignan / Marseille ;
- Axe Nord – Sud-ouest : Paris – Tours – Bordeaux – Bayonne ;
- Axe Est : Luxembourg - Metz – Strasbourg – Mulhouse et Luxembourg - Metz – Dijon ;
- Axe vers l'Italie : Paris – Dijon – Chalons – Modane ;
- Axe Paris – Orléans – Limoges – Toulouse.

Une analyse assez complète des opérateurs de transport combiné en France et de leurs réseaux est proposée par l'ADEME[69]. Parmi les opérateurs de transport combiné, environ la moitié des trafics est réalisée par deux opérateurs[70] : Naviland Cargo[71] et Novatrans[72].

[68] Le sillon représente l'occupation spatiale et temporaire du réseau ferroviaire par un train.
[69] ADEME : *Transports combinés rail-route, fleuve-route et mer-route. Tableau de bord national 2006.*
[70] En 2007, Naviland Cargo et Novatrans ont réalisé environ 4Gt-km, dont la plupart en trafic national (source UIRR).
[71] Naviland Cargo est une filiale de droit privé de la SNCF (source Naviland Cargo).
[72] Novatrans est une société de transport combiné rail-route spécialisée dans le transport des caisses mobiles. La société est détenue à hauteur de 85% par la SNFC, après un avis favorable de l'Autorité de la Concurrence qui a permis à la SNCF de devenir actionnaire principal de la société sous certains conditions. Ces dernières concernent notamment l'achat de service de traction ferroviaire, la gestion et l'accès à certains terminaux de

La figure 15 montre l'implantation des principaux chantiers de transbordement sur le territoire français.

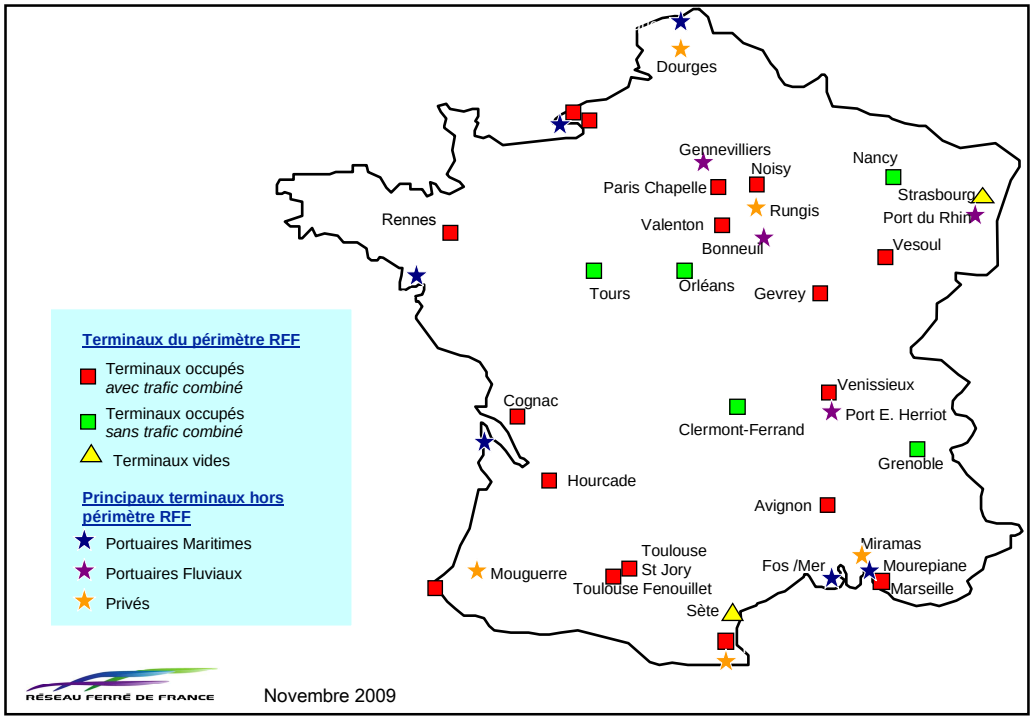


Figure 15 Les principaux terminaux du transport combiné en France (source : RFF)

Les terminaux intermodaux sont classés en deux catégories selon qu'ils font ou non partie du périmètre de RFF[73]. Le gestionnaire d'infrastructure est propriétaire du foncier de 32 chantiers[74], dont seulement 22 sont exploités. Parmi eux, Naviland Cargo et Novatrans gèrent au total 16 chantiers de transport combiné. Les chantiers restants sont dédiés principalement à des activités logistiques (stockage, transport routier, etc.).

4.3 Les acteurs du système de transport combiné rail-route et les enjeux de l'ouverture à la concurrence

Dans une chaîne de transport combiné, plusieurs acteurs interviennent soit au niveau de la demande de transport (chargeur, commissionnaire de transport, opérateur logistique, etc.), soit

transport combiné et la politique commerciale de Novatrans à l'égard de ses clients transporteurs routiers (source Autorité de la Concurrence octobre 2009).

[73] Les terminaux qui ne font pas partie du périmètre de RFF sont ceux situés à l'intérieur des ports maritimes ou fluviaux et certains sites privés.

[74] Source RFF : *Document de référence du réseau ferré national – Horaire de service 2010.*

au niveau de l'offre de transport (transporteur routier, entreprise ferroviaire, opérateur de transport combiné, gestionnaire de l'infrastructure).

Ici, on s'intéresse en particulier à l'offre de transport, c'est-à-dire aux relations existant entre les opérateurs de transport combiné, les entreprises ferroviaires et le gestionnaire de l'infrastructure.

Du point de vue logistique, l'opérateur de transport combiné (TC) peut organiser le transport d'une UTI[75] de porte-à-porte entre l'origine et la destination du client (chargeur, commissionnaire de transport ou opérateur logistique). Il peut en conséquence proposer le transport routier entre origine et chantier de transbordement, le parcours ferroviaire entre deux chantiers de transbordement, et enfin le transport routier vers la destination finale. Certains opérateurs de TC ne s'intéressent qu'à la partie ferroviaire du parcours, d'autres proposent un service complet en sous-traitant les parcours routiers à des transporteurs routiers.

L'opérateur de TC achète à une entreprise ferroviaire (la SNCF ou les nouveaux entrants) le transport ferroviaire pour relier ses terminaux, car en France la gestion de ces derniers est confiée aux opérateurs de TC, même s'il s'agit d'un domaine du gestionnaire de l'infrastructure (Réseau Ferré de France). L'entreprise ferroviaire à son tour demande au gestionnaire de l'infrastructure des sillons pour pouvoir circuler entre les chantiers de transbordement et aussi le droit d'accès aux chantiers de transbordement. Le schéma de la figure 16 illustre les relations entre les acteurs du système.

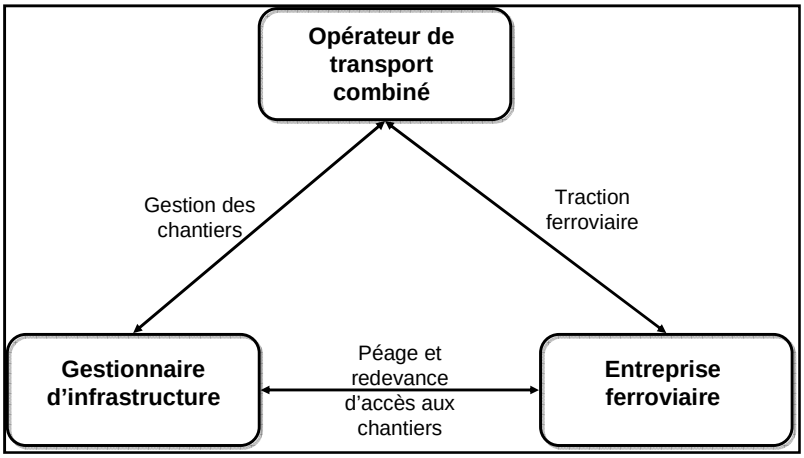


Figure 16 Relations entre acteurs dans le système du transport combiné

L'opérateur de transport combiné est au sommet du triangle car il est le seul à pouvoir contrôler toute la chaîne de transport. Cela explique le fait que les entreprises ferroviaires

[75] UTI : Unité de Transport Intermodal (caisses mobiles, conteneurs, semi-remorques ou véhicules complets dans le cas de l'autoroute ferroviaire).

souhaitent avoir des liens étroits avec les opérateurs de transport combiné, qui d'ailleurs pour des raisons historiques sont souvent des filiales des entreprises ferroviaires.

L'intégration entre entreprise ferroviaire et opérateur de transport combiné présente sans doute des avantages, notamment opérationnels :

- L'opérateur de transport combiné a une vision d'ensemble de son réseau qui comprend ses propres terminaux : il peut donc mieux maîtriser ses coûts et optimiser la gestion de son réseau car il n'a pas de concurrents sur son propre réseau ;
- L'entreprise ferroviaire peut développer ses trafics par l'intermédiaire des opérateurs de transport combiné qu'elle contrôle directement[76] ; elle n'a pas des concurrents dans le marché de la traction ferroviaire vis-à-vis des opérateurs qu'elle contrôle ;
- Le gestionnaire d'infrastructure est déchargé de la gestion des terminaux intermodaux, pour laquelle il perçoit une redevance d'accès payée par les entreprises ferroviaires et une redevance pour l'occupation du sol payée par les opérateurs de transport combiné.

A l'inverse, cette forme d'intégration entre les entreprises de transport combiné et les opérateurs ferroviaires entraîne des risques pour l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire fret pour deux raisons principales :

- Les opérateurs de transport combiné sont souvent contraints d'utiliser la seule entreprise ferroviaire historique comme tractionnaire de leurs trains en raison de leurs liens capitalistiques, ce qui entrave le développement des nouveaux entrants ferroviaires ;
- Les nouveaux opérateurs de transport combiné ont des difficultés à accéder au marché car les terminaux intermodaux sont déjà occupés par des opérateurs historiques.

Le bilan global pour le système du transport combiné est en conséquence négatif car l'ouverture à la concurrence pourrait faire augmenter les trafics et les bénéfices de tous les acteurs du système :

- Les opérateurs de transport combiné pourront ainsi se débarrasser de la gestion des terminaux et en conséquence d'une partie non négligeable de ses coûts fixes[77].
- Les entreprises ferroviaires bénéficieront d'une hausse des trafics grâce à l'arrivée de nouveaux opérateurs de TC et à l'amélioration des performances des opérateurs de TC historiques ;
- Enfin, pour le gestionnaire de l'infrastructure une hausse des trafics signifie aussi une hausse de recettes liées aux péages.

[76] Notamment à travers la participation financière.

[77] L'ADEME (2006) estime que les opérations aux terminaux représentent entre 10 et 15% du prix de revient total d'une chaîne de transport combiné rail-route. Le prix de revient des opérations aux terminaux inclut la quote-part des frais de structure de l'opérateur de transport combiné.

Ce raisonnement est d'autant plus valide s'il y a une demande potentielle à satisfaire. La section 4.5 démontre que cette demande potentielle existe bien ; en outre l'amélioration des performances des opérateurs de transport combiné, due à la réduction de leurs coûts de gestion, augmenterait leur part de marché par rapport au trafic routier.

4.4 La comparaison internationale

Une analyse plus fine du transport combiné en Europe a été faite à partir des données de l'UIRR[78] en comparant les deux principaux opérateurs français, Naviland Cargo et Novatrans, avec les principaux opérateurs de transport combiné en Europe.

Le graphique de figure 17 montre l'évolution des trafics d'UTI entre 2003 et 2008.

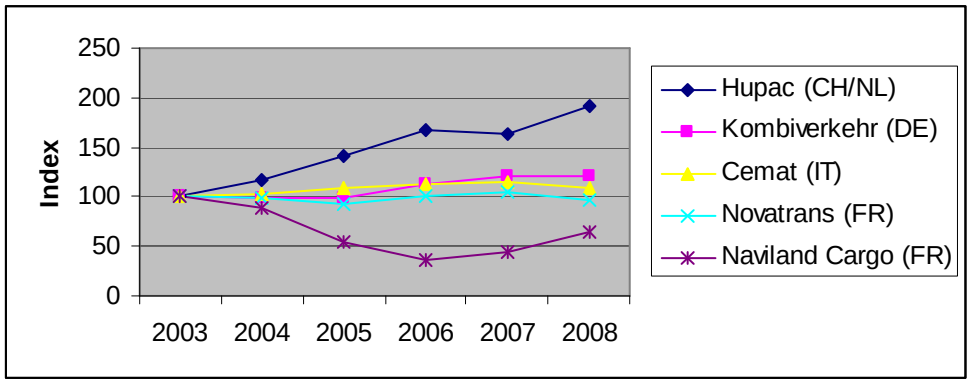


Figure 17 Evolution du trafic combiné en UTI pour les principaux opérateurs européens (source : UIRR)

Trois opérateurs réalisent la plupart des trafics de transport combiné en Europe (figure 18) : Kombiverkehr (qui est basé en Allemagne), Cemat (en Italie) et Hupac[79] (en Suisse).

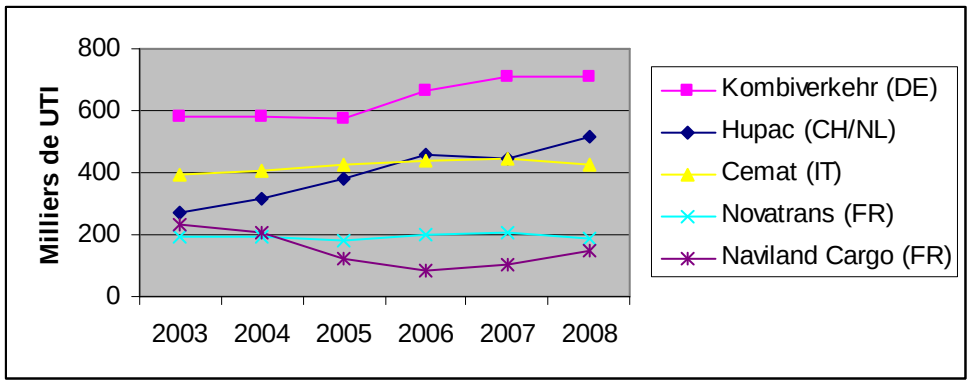


Figure 18 Trafic combiné en UTI pour les principaux opérateurs européens (source : UIRR)

[78] UIRR: Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route.
[79] Les données de l'UIRR concernent Hupac Intermodal SA (société basée en Suisse) et Hupac Intermodal NV (société basée aux Pays Bas), toutes les deux font partie du groupe Hupac SA, basé en Suisse.

On s'intéresse en conséquence à l'organisation du système de transport combiné dans ces pays afin de montrer le rôle des acteurs du système, vis-à-vis de l'ouverture à la concurrence des chantiers de transbordement.

4.4.1 L'Allemagne

En Allemagne depuis 2003, la DUSS[80] gère les terminaux qui auparavant appartenaient à DB Netz[81] et à PKV Duisburg[82]. DUSS est une société détenue par DB Netz AG (75 %), Kombiverkehr GmbH & Co KG (12,5 %) et DB Mobility Logistics AG (12,5 %).

Même s'il pourrait encore y avoir quelques barrières à l'entrée à cause des relations entre la DUSS, l'opérateur de transport combiné historique (Kombiverkehr[83]) et la DB, les terminaux sont gérés par une société privée et non pas par les opérateurs de transport combiné eux-mêmes comme c'est le cas en France.

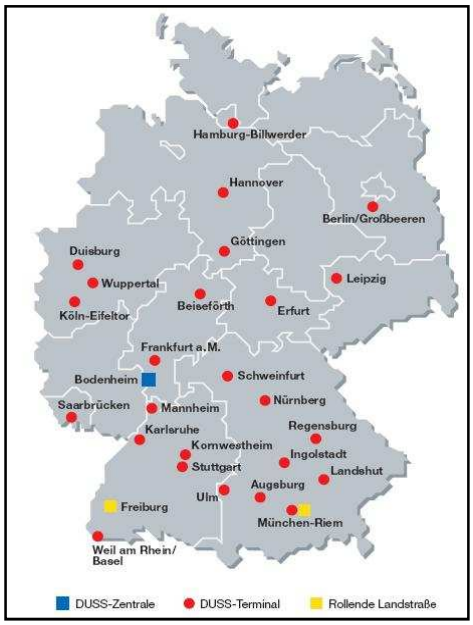


Figure 19 Les chantiers de transport combiné en Allemagne gérés par la DUSS (source DUSS)

DUSS gère au total 25 chantiers (figure 19) y compris deux plateformes d'autoroute ferroviaire[84]. Le chiffre d'affaires annuel s'élève à environ 50 M d'euros et les terminaux ont traité 2,1M d'unités avec 50 portiques et 10 grues mobiles.

[80] DUSS : *Deutsche Umschlaggesellschaft Schiene – Straße*, avait été créée en 1982 par la DB et deux sociétés de transport combiné (*Transfracht Deutsche Transportgesellschaft* et *Kombiverkehr Deutsche Gesellschaft für kombinierten Güterverkehr*) pour gérer les terminaux de Mannheim et Stuttgart (source DUSS).
[81] DB Netz est le principal gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire en Allemagne et dépend de la holding DB.
[82] Terminal situé dans le port fluvial de Duisburg.
[83] Kombiverkehr est détenu à 50% par la DB, le reste est détenu par 230 opérateurs logistiques (source Kombiverkehr).
[84] Il s'agit de l'autoroute ferroviaire entre Novare et Fribourg-en-Brisgau et entre Vérone/Trente et Munich.

4.4.2 L'Italie

En Italie, les principaux chantiers de transport combiné[85] sont gérés depuis l'été 2008 par Terminali Italia, société détenue par RFI[86] (85%) et par Cemat[87] (15%), opérateur historique de transport combiné. L'organisation du système italien ressemble beaucoup à celle de l'Allemagne.

La société gère 19 chantiers (figure 20). Le chiffre d'affaires du deuxième semestre 2008[88] s'élevait à environ 16 M d'euros ; dans la même période les terminaux ont manipulé environ 350.000 unités avec 60 grues mobiles et 4 portiques[89].

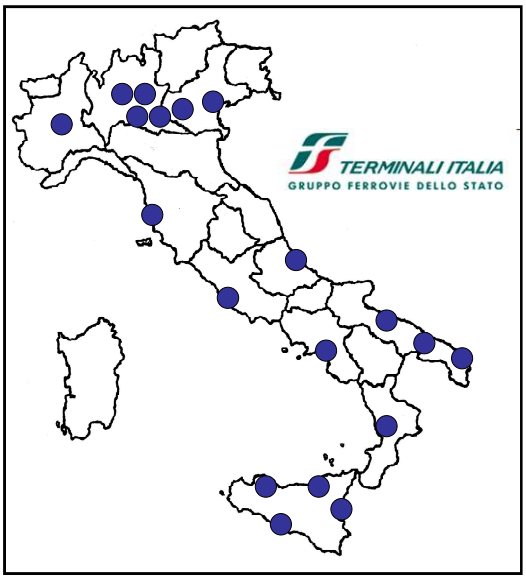


Figure 20 Les chantiers de transport combiné en Italie gérés par Terminali Italia (source Terminali Italia)

4.4.3 La Suisse

La Suisse représente un cas particulier par rapport aux autres pays européens pour deux raisons principales : d'abord elle ne fait pas partie de l'Union Européenne et en conséquence elle n'est pas soumise aux mêmes règles d'ouverture à la concurrence et de politique des

[85] Certains chantiers de transport combiné sont situés à l'intérieur des « interporti », de plateformes logistiques semi-publiques financées par l'Etat et les régions depuis les années 1980. L'importance de ce lien entre structure logistique et chantiers de transbordement est pourtant relative car peu de structures implantées sur le site utilisent vraiment le transport combiné.
[86] RFI : Rete Ferroviaria Italiana est le gestionnaire de l'infrastructure, qui dépend de la holding FS (Ferrovie dello Stato), comme en Allemagne.
[87] Cemat a été créé en 1953. La société est détenue par FS Logistica (53,28%), Hupac (34,47%) et des opérateurs privés de transport (12,25%).
[88] Le bilan de la société est limité à la période 1/07/2008 (date de sa création) – 31/12/2008 (source Terminali Italia).
[89] Les 4 portiques sont tous situés dans le chantier de Vérone; il est intéressant de noter la différence avec le système des terminaux allemands où la proportion entre grues mobiles et portiques est inverse à celle de l'Italie.

transports que les Etats membres. Pourtant elle a développé une politique des transports très efficace en matière de report modal[90] qui a permis de développer les trafics de transport combiné (voir fig. 4.7).

Un deuxième aspect a trait au fait que le réseau de transport combiné est surtout développé à l'extérieur des frontières nationales (figure 21).

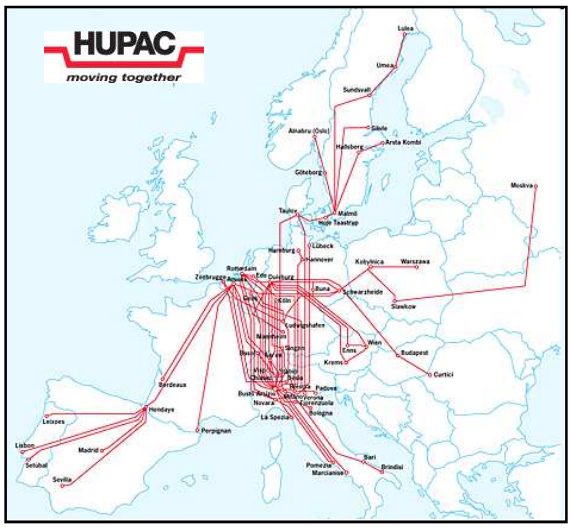


Figure 21 Le réseau de transport combiné de Hupac (source : Hupac)

Hupac[91] est une société privée, détenue par des sociétés de transport et logistique (72%) et par des entreprises ferroviaires (28%). Elle ne gère directement que neuf chantiers[92], alors que son réseau permet de connecter environ 80 terminaux dans toute l'Europe. Son chiffre d'affaires 2008 s'élevait à environ 350 M d'euros et a généré 4,4 M d'euros de bénéfices.

Le cas des autres pays permet de montrer qu'une organisation différente du système de transport combiné est possible et envisageable dans le cas français. Plusieurs aspects sont à retenir par rapport au cas français :

- Les principaux opérateurs de transport combiné en Europe ne gèrent pas directement les chantiers de transbordement qui font partie de leur réseau : cela entraîne une baisse des coûts fixes liés à l'exploitation du réseau[93] ;

[90] Notamment à travers la redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP).
[91] Hupac a été fondé en 1967 par deux entreprises de transport routier (Bertschi et F.lli Bernasconi), deux commissionnaires de transport (Danzas et Jacky Maeder) et le FFS (source Hupac).
[92] Quatre chantiers sont situés en Italie (Busto Arsizio-Gallarate, Oleggio, Desio, Novara Ralpin), trois en Suisse (Aarau, Bâle, Chiasso), un en Allemagne (Singen), et le dernier aux Pays-Bas (Ede), (source Hupac).
[93] Il s'agit notamment de tous les coûts liés au fonctionnement du chantier et des dépenses nécessaires pour les investissements.

- Le réseau est d'envergure européenne et la plupart du trafic est réalisée à l'international : il s'agit d'un réseau de type *hub and spokes* à l'échelle européenne, qui permet de développer des économies d'échelle et de distance liés à la massification des flux[94] ;
- Les trafics sont mixtes (les trains transportent des caisses mobiles, des conteneurs et des semi-remorques en même temps) : cela permet notamment de développer des économies d'envergure[95] ;
- Le nombre des chantiers par rapport au trafic traité est trop élevé en France en comparaison des autres pays européens (tableau 4).

Pays	**Nombre de chantiers de transbordement**	**Trafic combiné 2008 (UTI)**	**Nb moyen d'UTI par chantier**
Allemagne (DUSS)	25	2.100.000	84.000
Suisse (Hupac)	9*	700.000	78.000
Italie (Terminali Italia)	19	700.000**	36.800
France (GNTC***)	16	360.000	22.500

* Seulement chantiers dont la gestion est directe

** Estimation sur l'année 2008

*** Groupement National des opérateurs de Transport Combiné: Froidcombi, Naviland Cargo, Novatrans, Rail Link, T3M

Tableau 4 Comparaison de la productivité des chantiers de transbordement rail-route en 2008

L'idée est donc de s'inspirer de ces mêmes principes dans le cas du transport combiné rail-route en France, pour parvenir à une rationalisation des flux de marchandises à travers les terminaux intermodaux.

4.5 La localisation des chantiers de transbordement en France

Plusieurs rapports officiels ont analysé la question de la localisation des chantiers de transbordement en France[96]. La rationalisation du nombre et de la localisation des chantiers

[94] Contrairement à certaines idées reçues, il n'existe pas une distance minimale qui déterminerait l'intérêt du transport combiné par rapport à la route car cela dépend du niveau de trafic : pour des trafics très importants le transport combiné peut être avantageux même sur des relations courtes comme par exemple entre Milan et Gênes (150 km) ou entre Lyon et Marseille (300 km). L'organisation du réseau *hub and spokes* permet notamment de concentrer les trafics sur certaines relations.

[95] En théorie économique, les économies d'envergure sont des économies provenant de productions jointes.

[96] Parmi eux : le rapport Daubresse (1997), le rapport Perrod (1998), le rapport Matheu (2003), le rapport Robien (2005).

est pourtant intervenue face à des contraintes économiques au moment de la restructuration de la CNC[97] qui a fermé la plupart de ses plateformes[98].

Le système de transport combiné nécessite une rationalisation du nombre et de la localisation des plateformes existantes pour permettre le développement d'un réseau de type *hub and spokes* à l'échelle européenne[99]. La rationalisation s'impose en conséquence pour des raisons économiques : néanmoins, cela n'empêche pas certains chantiers de présenter un intérêt en termes d'aménagement du territoire[100].

Les localisations potentielles ont été analysées à partir des besoins exprimés par les régions à travers les CPER[101] 2007-2013, des besoins exprimés par le GNTC[102] et de la politique de RFF sur le sujet[103]. Il s'agit plus précisément d'évaluer l'opportunité des projets proposés par rapport à la demande potentielle et à la capacité existante ou prévue.

4.5.1 Les trafics potentiels de transport combiné rail-route à l'échelle nationale

L'estimation des trafics potentiels est toujours discutable du fait de la non-prise en compte de certains facteurs du choix modal (tels que la fréquence, l'heure de départ, etc.) : pourtant, dans une analyse de la capacité, il est important de ne pas se limiter aux trafics actuels pour ne pas surestimer la capacité résiduelle des chantiers de transbordement.

La demande actuelle pour le transport intérieur a été calculée à partir des données de la base SitraM[104] en prenant en compte le mode de conditionnement des marchandises (conteneurs ou caisses mobiles[105]) dans le transport ferroviaire[106]. La figure 22 montre les principaux flux nationaux de transport combiné terrestre en France en 2006.

---

[97] CNC : la Compagnie Nationale des Conteneurs était une filiale de la SNCF qui a été entièrement restructurée en 2004 pour devenir Naviland Cargo.

[98] Entre 2002 et 2006, 25 plateformes sur 54 ont été fermées en France (source ADEME).

[99] Une étude avait montré l'intérêt de trois hubs potentiels d'envergure européenne en France : Lyon, Marseille et Metz (source : Racunica, Wynter 2000).

[100] Par exemple dans le cadre des réflexions sur les opérateurs fret de proximité (OFP). Il faudrait toutefois évaluer l'intérêt économique de ces pratiques.

[101] CPER : Contrat de Projets Etat-Région.

[102] GNTC : Groupement National des opérateurs de Transport Combiné.

[103] La politique de RFF est de moderniser les terminaux lui appartenant. Les nouveaux chantiers peuvent relever quant à eux d'autres opérateurs (portuaires, privés….) (source : RFF).

[104] SitraM est le Système d'information sur les transports de marchandises du Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. Les données les plus récentes et détaillées concernant le transport ferroviaire sont celles de 2006, la SNCF ensuite a limité la diffusion des ses statistiques de transport de marchandises pour des raisons commerciales.

[105] L'autoroute ferroviaire est en conséquence exclue de cette analyse.

[106] Il s'agit pour la plupart de la catégorie 9D de la NST (Nomenclature Statistique des Transports) : autres articles manufacturés.

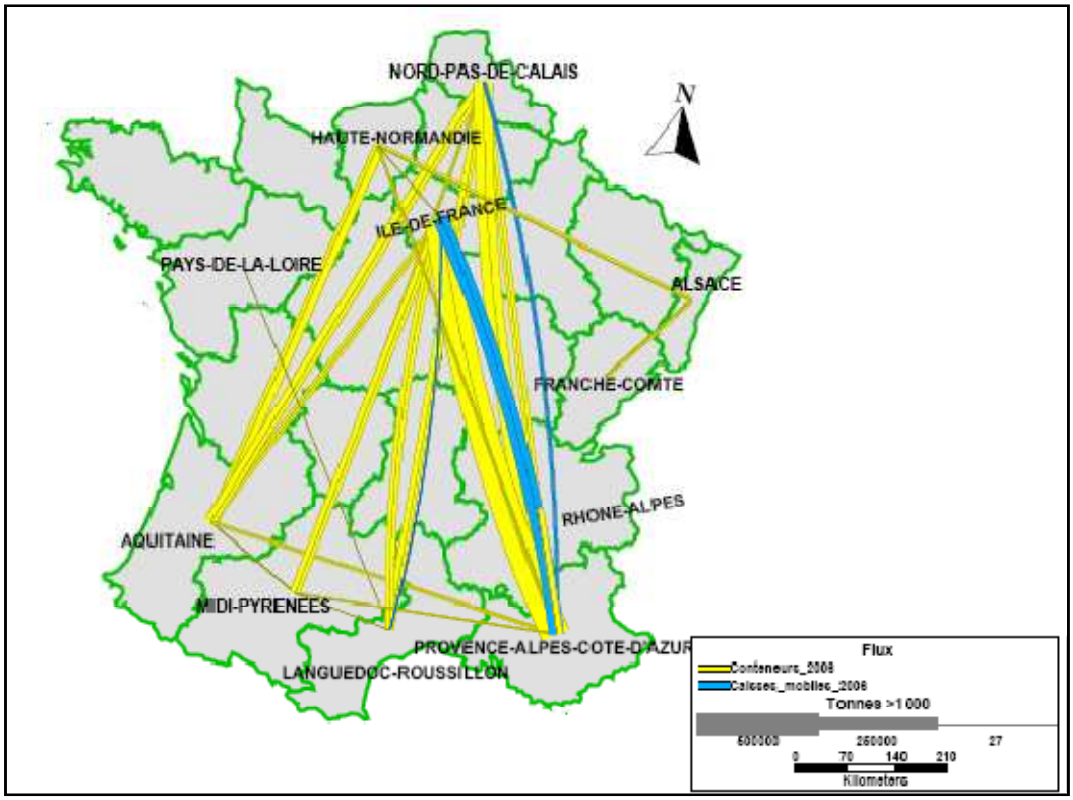


Figure 22 Principaux flux nationaux de transport combiné terrestre en France en 2006 (source : SitraM, travaux de l'auteur avec Transcad®)

Le niveau potentiel a été calculé à partir des trafics routiers qui présentaient ces caractéristiques :

1. Mode de conditionnement compatible avec le transport combiné (conteneurs ou caisse mobiles) ;
2. Flux interrégionaux.

Le trafic potentiel a été calculé comme la différence[107] entre les trafics routiers « combinables » et le trafic combiné ferroviaire. L'estimation est en conséquence très prudente : il s'agit *grosso modo* de repérer tous les flux de conteneurs à destination ou en provenance des ports maritimes[108] qui n'utilisent pas le transport ferroviaire sur des relations interrégionales. Cela montre surtout le très fort potentiel de la croissance du transport combiné pour le port du Havre. La figure 23 présente le niveau actuel et potentiel de trafic pour chaque région française en 2006.

[107] Pour ne pas comptabiliser deux fois le trafic combiné qui utilise déjà la route et le rail.
[108] Les trafics actuels en transport combiné ont été corrigés à partir d'estimations plus précises des trafics de conteneurs publiées par le Port du Havre et le Port de Marseille.

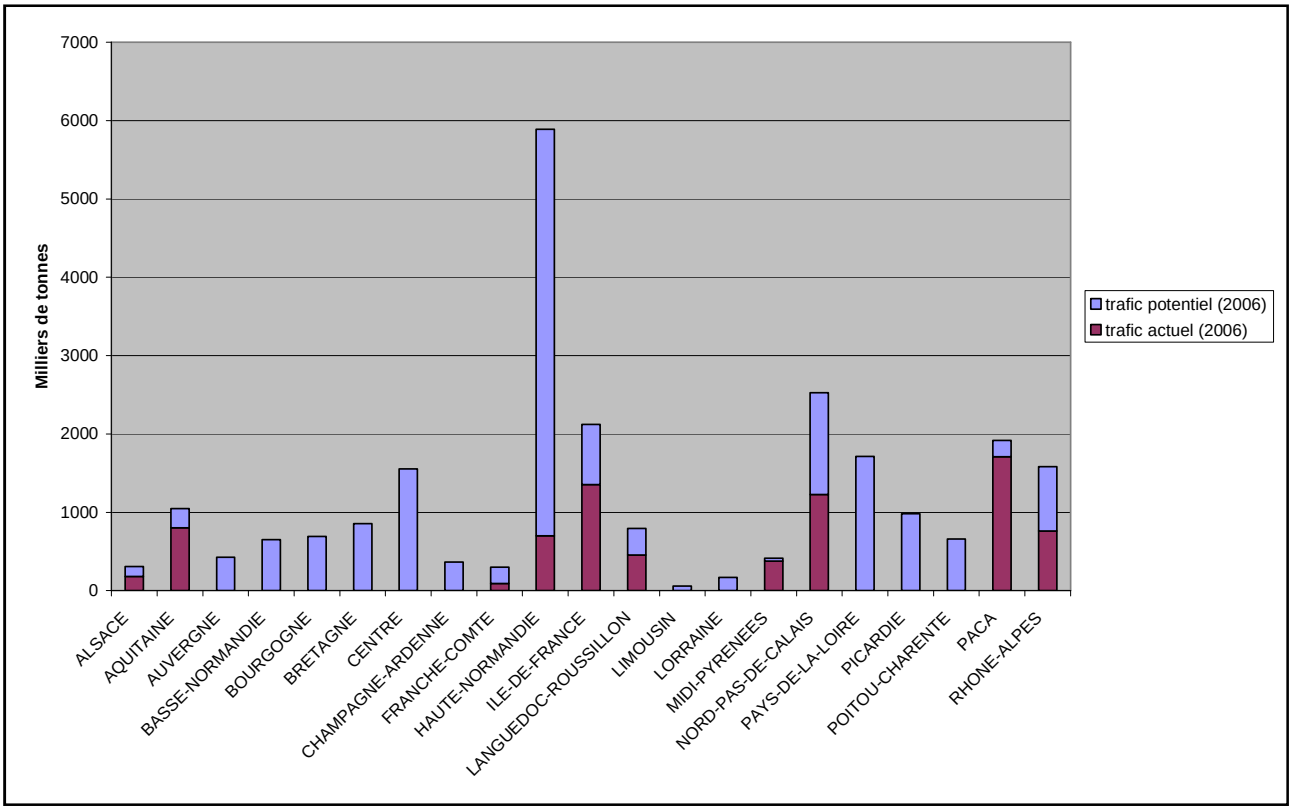


Figure 23 Potentiel de croissance du transport combiné terrestre en France (source : SitraM)

4.5.2 La prise en compte des trafics internationaux

Les trafics internationaux avec l'Italie et l'Espagne ont été estimés à partir de l'enquête Transit[109].

Parmi les catégories de produits transportés, seulement trois sont représentatives : il s'agit des matériels de transport, des biens d'équipement et des autres produits manufacturés.

Concernant les origines et les destinations des flux, les échanges avec l'Italie sont six fois plus importants qu'avec l'Espagne. La figure 24 montre la répartition des flux franco-italiens selon la région française d'origine et celle de destination des trafics.

[109] Je tiens à remercier Christian Reynaud de Nestear pour m'avoir fourni ces données.

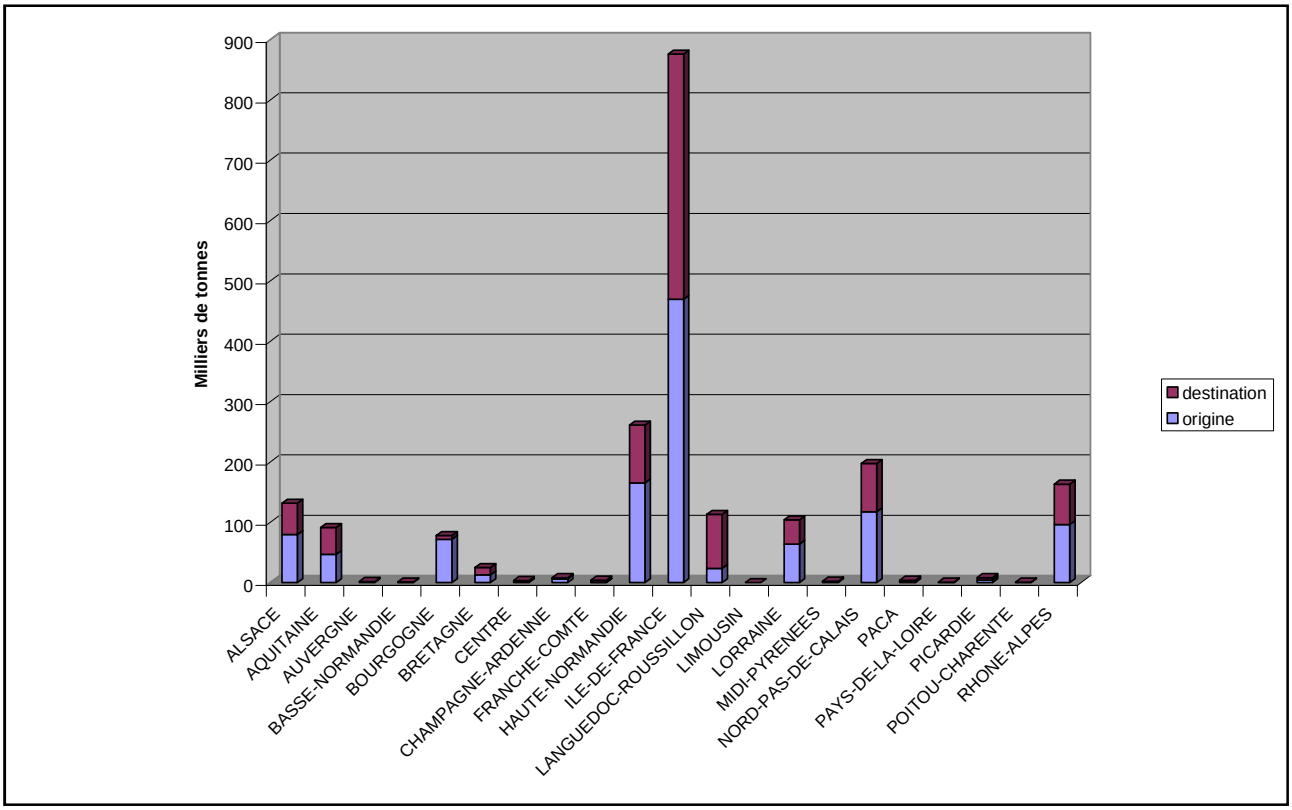


Figure 24 Origine et destination selon la région des échanges avec l'Italie en transport combiné (source CAFT2004)

La plupart des échanges avec l'Italie se font avec l'Ile de France (42%), la Haute-Normandie (13%), le Nord-Pas-de-Calais (10%), Rhône-Alpes (8%), l'Alsace (6%), la Lorraine (5%), l'Aquitaine (4%) et la Bourgogne (4%). Pour l'Italie, les principales régions d'échange avec la France en transport combiné sont le Piémont (71%), la Lombardie (17%) et l'Émilie-Romagne (9%).

Un cas particulier est représenté par l'Espagne[110] : en 2004 les trafics d'échange en transport combiné avec la France s'élevaient à 332 milliers de tonnes hors transit. Avec la mise en service de la ligne à grande vitesse Perpignan-Figueras et la réalisation de la nouvelle ligne au Pays Basque, on assistera probablement à une augmentation des trafics de transport combiné avec les ports espagnols. La figura 25 montre les échanges entre l'Espagne et les régions françaises.

[110] On rappelle que le réseau ferroviaire espagnol possède un écartement spécifique, ce qui entraîne des surcoûts très élevés pour le transport ferroviaire. Le réseau espagnol à grande vitesse utilise par contre l'écartement standard UIC.

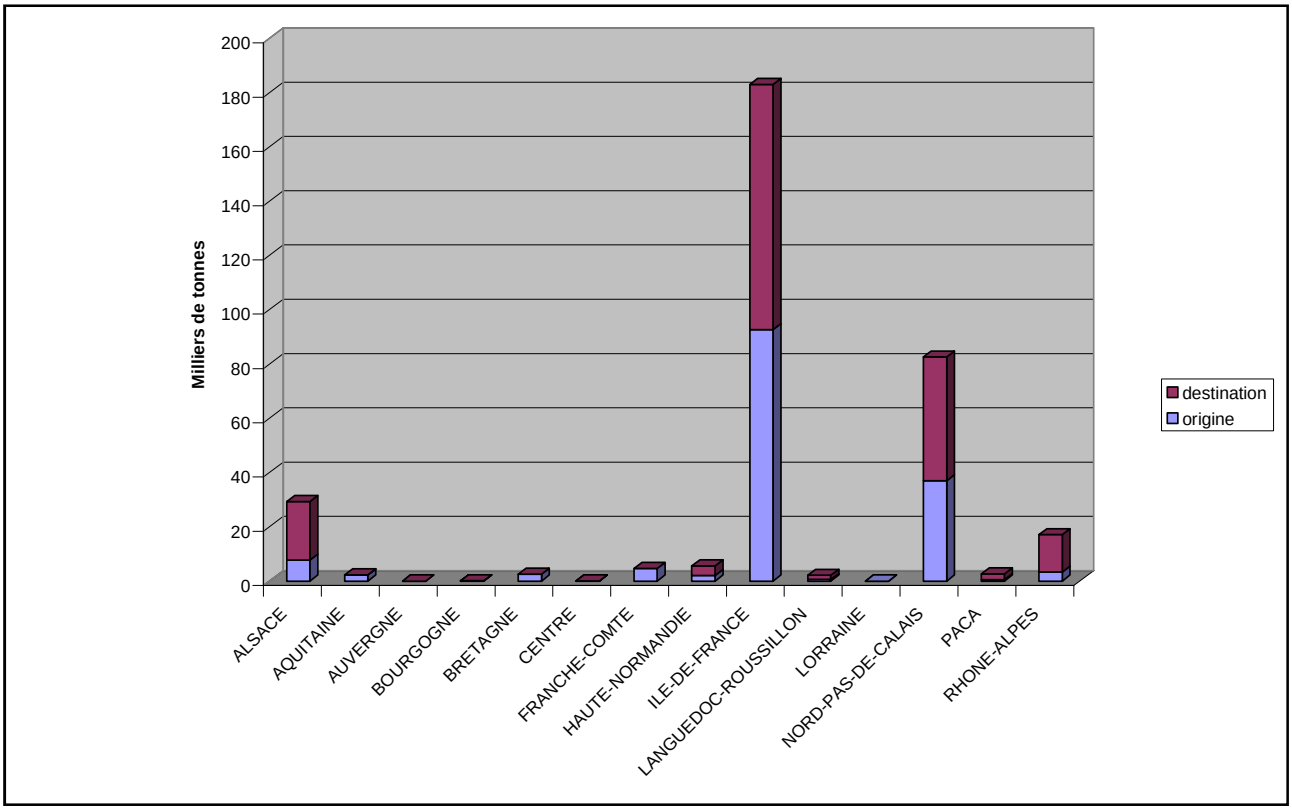


Figure 25 Trafics de transport combiné échangés entre l'Espagne et les régions françaises (source CAFT2004)

Les échanges avec l'Espagne se font surtout avec l'Ile de France (54%), le Nord-Pas-de-Calais (25%), l'Alsace (9%) et Rhône-Alpes (5%). Côté espagnol, les principales régions échangeuses sont : la Castille-Leon (74%), Madrid (18%) et la Catalogne (5%).

Les flux échangés avec l'Allemagne et la Belgique ont été estimés à partir des données de l'UIRR[111]. Le potentiel de croissance pour les trafics internationaux en transport combiné n'a pas été estimé en l'absence de données fiables[112].

4.6 L'analyse des résultats obtenus

L'estimation des trafics de transport combiné répartis en différentes catégories de flux (national, potentiel national, échanges international) permet d'évaluer l'opportunité de nouveaux investissements dans les plateformes de transport combiné existantes ou prévues.

[111] L'UIRR fournit des matrices origine-destination par pays. Pour estimer les échanges à un niveau régional pour la France, on a pris en compte les relations ferroviaires existantes, ce qui ne correspond pas forcément à l'origine ou à la destination exacte de l'expédition. Il faut aussi rappeler que l'UIRR ne fédère pas la totalité des opérateurs de transport combiné.

[112] Plusieurs modèles ont déjà essayé de fournir des prévisions de croissance à long ou moyen terme mais dans le cas du transport combiné, l'exercice de prévision reste toujours très risqué. Le même type d'exercice réalisé pour estimer le potentiel national (trafic de conteneurs sur la route) pourrait être appliqué au cas des trafics internationaux si l'on disposait du même type de statistiques.

La demande totale en tonnes pour chaque région a été transformée en UTI[113] pour pouvoir la comparer avec l'estimation de la capacité des chantiers de transbordement réalisée par RFF. Les résultats obtenus sont représentés dans le graphique de la figure 26.

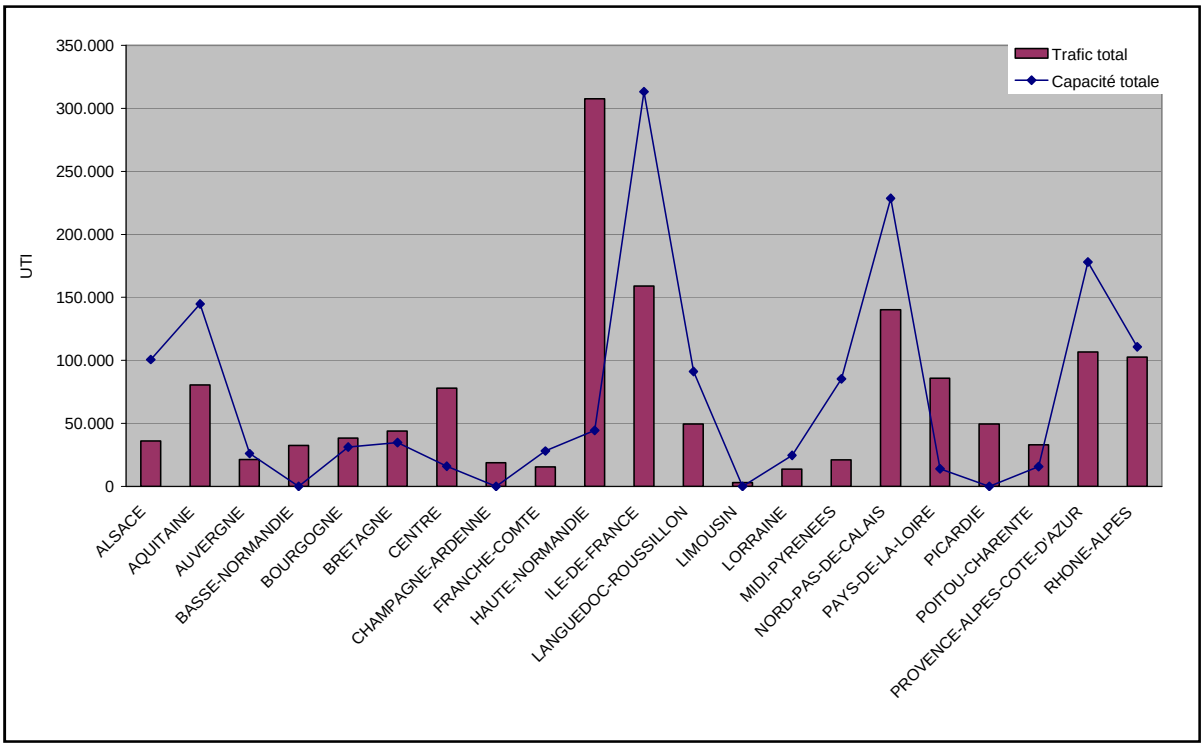


Figure 26 Comparaison entre le trafic total (actuel et potentiel) et la capacité totale (actuelle et potentielle) pour le transport combiné par région française (source : SitraM/CAFT2004/UIRR/RFF/opérateurs)

Le graphique de la figure 4.15 nécessite quelques éléments d'appréciation :

- L'analyse pour la région Alsace ne met pas en évidence de saturation pour le trafic combiné ferroviaire du Port du Rhin à Strasbourg[114] ;
- La région Centre présente un potentiel de croissance supérieur à 50.000 UTI, ce qui pourrait justifier la réactivation du terminal de Saint Pierre-des-Corps (Tours)[115] ;
- La Haute-Normandie est sans doute le cas critique pour le transport combiné rail-route en France, vu le fort potentiel de croissance du combiné et la faible capacité disponible hors périmètre portuaire[116] ;

[113] Le calcul a été fait à partir de l'estimation du poids moyen par unité de transport intermodal pour les opérateurs français selon les données de l'UIRR (20 tonnes en moyenne). Etant donné que la catégorie des produits transportés est assez homogène, le poids moyen peut être considéré comme assez représentatif.
[114] Le terminal du Port du Rhin à Strasbourg ne fait pas non plus partie du périmètre de RFF. Le chantier de Strasbourg Kronenbourg, qui fait partie du périmètre RFF, est vide ainsi que le chantier de Mulhouse.
[115] Dans la région Centre, le terminal d'Orléans est libre alors que celui de Tours est déjà occupé sans réaliser de trafic combiné. Le niveau de la demande potentielle suggère de considérer aussi de possibles synergies avec les régions voisines (Pays-de-la-Loire et région parisienne).

- En Ile-de-France, la capacité actuelle est très supérieure au trafic potentiel mais elle est repartie sur plusieurs sites (Valenton 1 et 2, Noisy, Paris Chapelle, Pompadour), ce qui crée de nombreuses difficultés pour les opérateurs de transport combiné ;
- L'analyse pour la région Nord-Pas-de-Calais ne révèle pas de problème de saturation du site de Dourges[117], dont on prévoit déjà une possible extension ;
- La région Pays-de-la-Loire montre aussi un potentiel de croissance, tout comme la région Centre : une synergie serait en conséquence envisageable pour arriver à capter de nouveaux trafics sur l'un des sites existants (Le Mans, Angers, Tours ou Orléans) ;
- L'analyse pour les régions du Sud de la France ne présente pas de cas critique : les projets existants concernent principalement des opérations de déplacement ou de réaménagement, comme à Lyon[118], Marseille[119] et Toulouse[120] ;
- Enfin, en ce qui concerne les régions restantes, l'estimation des trafics actuels ou potentiels ne montre pas la nécessité de créer de nouveaux chantiers de transport combiné : les sites existants pourraient en conséquence être réutilisés pour d'autres types d'activités, y compris par des OFP[121].

4.7 Conclusion

L'analyse de l'évolution du transport combiné en France par rapport aux autres pays européens invite à considérer une possible réorganisation du système des acteurs français de transport combiné : une organisation différente du système, surtout en ce qui concerne la gestion des chantiers de transbordement, serait donc envisageable. L'analyse du rôle des acteurs du système montre que le rôle clé est celui du gestionnaire de l'infrastructure qui devrait se réapproprier la gestion des terminaux à travers la création d'une société de gestion publique, ouverte à tous les opérateurs de transport combiné, comme c'est déjà le cas en Allemagne depuis longtemps et en Italie récemment.

L'estimation des trafics montre aussi la complexité de l'analyse, compte tenu du fait que les bases des données sont très fragmentaires et pas assez désagrégées. Les résultats de

[116] RFF estime que les nouveaux investissements devraient se concentrer dans le périmètre portuaire plutôt que sur les sites existants en milieu urbain.
[117] La plateforme Delta3 de Dourges est une plateforme logistique privée hors périmètre RFF. La capacité du site est estimée à 200.000 UTI et le trafic 2008 s'élevait à environ 130.000 UTI (source Delta3).
[118] Une nouvelle plateforme pour l'autoroute ferroviaire est prévue à l'est de la région lyonnaise, qui pourrait éventuellement intégrer un chantier de transport combiné afin de déménager le site existant de Vénissieux.
[119] Des projets concernent le site de Canet et de Mourepiane dans le périmètre portuaire.
[120] Actuellement, les deux terminaux (Saint Jory et Fenouillet) sont utilisés. Un regroupement des opérateurs actuels sur le site de Saint Jory est à l'étude
[121] Les opérateurs fret de proximité pourraient ainsi réaliser des trafics mixtes de transport combiné et conventionnel.

l'analyse confirment d'ailleurs certains axes de la politique de transport et du rôle de RFF dans le système : la rationalisation du nombre de plateformes est nécessaire pour pouvoir développer les trafics sur des axes prioritaires[122], en particulier en connexion avec les ports maritimes. Les plateformes existantes qui ne font pas partie de ce réseau prioritaire, pourraient éventuellement servir pour le développement des opérateurs fret de proximité, qui devraient alors mettre en place d'autres logiques économiques.

L'analyse suggère en conséquence une politique de rationalisation des terminaux existants et en même temps la nécessité d'un changement de gouvernance des terminaux afin d'améliorer les performances du système plutôt que la création de nouveaux chantiers de transport combiné en France.

[122] Il s'agit en particulier du Réseau Orienté Fret (ROF), qui fait partie du contrat de performance entre l'Etat et RFF visant entre autres le développement du transport fret dans le cadre du Grenelle de l'Environnement.

5 L'estimation de la capacité et de la productivité des chantiers de transbordement

5.1 Introduction

Les chantiers de transbordement (C.T.), situés aussi bien à l'intérieur d'une plateforme multimodale qu'isolés, représentent le maillon essentiel pour le développement et l'efficacité de la chaîne du transport combiné.

Souvent, le problème de la saturation est évoqué par les opérateurs comme cause de l'inefficacité du système et ils demandent à l'Etat ou aux collectivités territoriales la création de nouveaux sites ou des améliorations importantes sur les sites existants, avec comme conséquence un impact territorial fort et une dépense importante d'argent public.

En même temps, la saturation peut être causée non pas tant par un déficit au niveau de l'infrastructure existante, mais que par une mauvaise organisation de l'opérateur installé, qui peut limiter de manière importante la capacité du chantier.

Ce chapitre propose donc un éclairage méthodologique sur la problématique de l'estimation de la capacité des C.T. dans le but de montrer la différence entre d'un côté, ce que l'on appelle la capacité de l'infrastructure et de l'autre côté, la capacité opérationnelle, liée aux modalités de gestion des opérateurs. Une mesure de la productivité est aussi proposée à travers la comparaison des caractéristiques des chantiers allemands, français et italiens.

5.2 La définition de la capacité

Tout d'abord, la capacité d'un C.T. peut être exprimée en différentes unités de mesure pour une période temporelle de référence.

Les deux unités de mesure les plus représentatives sont le nombre de trains par jour et le nombre d'UTI[123] par an.

En utilisant des coefficients de conversion on peut aussi fournir des estimations de la capacité en tonnes par an (en considérant le coefficient de remplissage des UTI) ou en TEU[124] par an : ces deux paramètres sont de toute façon moins représentatifs de la capacité réelle du chantier.

[123] UTI: Unité de transport intermodal, ce qui peut correspondre à des conteneurs, des caisses mobiles, des semi-remorques ou des véhicules complets dans le cas de l'autoroute ferroviaire.
[124] EVP: Equivalent Vingt Pieds, ce qui correspond dans le transport maritime des conteneurs à la mesure équivalente au conteneur standard (20 pieds de longueur).

La capacité des C.T. est liée à trois paramètres :

- Le paramètre *technique*, qui considère les caractéristiques de l'infrastructure ;
- Le paramètre *commercial*, défini par les caractéristiques des trafics ;
- Le paramètre *industriel*, qui dépend des modalités opératives du travail.

Ces trois paramètres permettent de définir en premier lieu une capacité théorique, qui prend en compte le paramètre technique et un paramètre industriel idéal, de manière à exprimer la capacité maximale du chantier.

Par ailleurs, il existe une capacité commerciale, qui est basée sur les caractéristiques de l'infrastructure, les modalités opérationnelles du travail (le paramètre industriel réel) et les caractéristiques de la demande (paramètre commercial).

5.3 Le principe de fonctionnement d'un chantier de transbordement

Pour estimer la capacité d'un C.T., il faut tout d'abord analyser son principe de fonctionnement à travers le schéma représenté en figure 27.

Le schéma montre que la capacité globale du C.T. est limitée en amont par la capacité de la ligne ferroviaire d'adduction et par la capacité des accès routiers (qui pourrait être évaluée grâce à la théorie des files d'attente).

La capacité globale dépend aussi de la capacité de la gare de triage (faisceau de réception et faisceau d'attente au départ) à laquelle le chantier est branché par une voie de service.

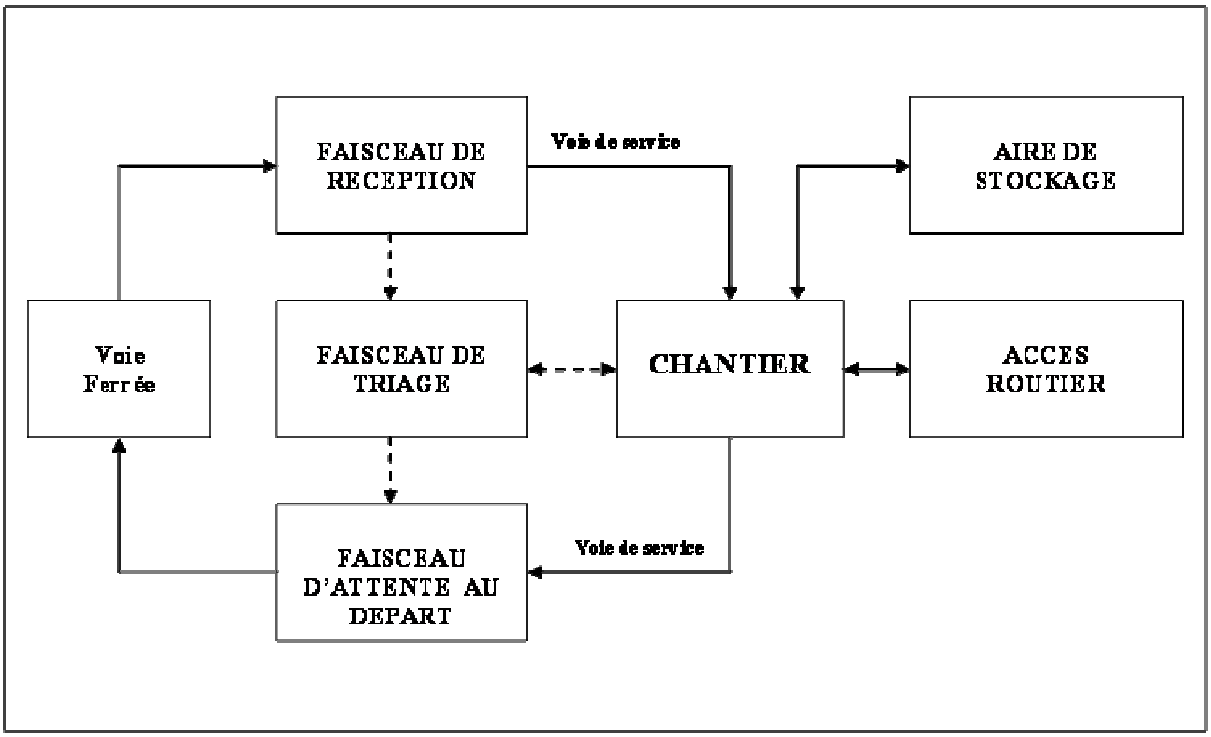


Figure 27 Schéma de fonctionnement d'un chantier de transbordement

La capacité du chantier est aussi liée à la capacité des voies de chargement/déchargement (quais), à la capacité des équipements et enfin, à la capacité de stockage : tous ces aspects seront détaillés ci-dessous.

5.4 La formulation de la capacité proposée par l'EIA

L'European Intermodal Association (Kombiconsult & Kassel and Partner) propose d'estimer la capacité des C.T. comme le minimum entre les deux formulations ci-dessous:

5.4.1 La capacité des voies de chargement/déchargement (quais)

$$Cb = \frac{Nb * Lt}{Lv} * LF * FF * 2N \qquad [1]$$

Où:

- *Cb* est la capacité des voies exprimée en UTI/an;
- *Nb* est le nombre des voies de chargement/déchargement (quais) dans le chantier ;
- *Lt* est la longueur des voies de chargement/déchargement (quais) dans le chantier ;
- *Lv* est la longueur moyenne des wagons ;
- *LF* est le nombre moyen d'UTI par wagon;
- *FF* est le nombre moyen de trains par jour par voie de chargement/déchargement : il est appelé coefficient dynamique;
- *N* est le nombre de jours ouvrables sur l'année.

Cette formule permet de calculer une capacité commerciale, car elle inclut les trois types de paramètres explicités avant : le paramètre technique (Nb, Lt), le paramètre commercial (Lv, LF, FF) et le paramètre industriel (N).

5.4.2 La capacité des équipements

$$Ca = Cp + Cc. = (Np * Mp * To * N) + (U * Nc * Mc * To * N) \qquad [2]$$

Où:

- *Ca* est la capacité des équipements exprimée en UTI/an;
- *Cp* est la capacité des portiques exprimée en UTI/an;
- *Cc* est la capacité des chariots exprimée en UTI/an ;
- *Np* est le nombre de portiques dans le chantier;
- *Mp* est le nombre de transbordements faits par un portique par heure;

- *Nc* est le nombre de chariots dans le chantier;
- *Mc* est le nombre de transbordements faits par un chariot par heure;
- *To* est le nombre d'heures d'activité des équipements par jour;
- *N* est le nombre de jours d'activité du chantier dans l'année;
- *U* est le coefficient d'utilisation des chariots[125];

Cette formulation se réfère aussi à une capacité commerciale.

Suite à plusieurs applications de cette méthodologie dans des situations réelles, il a été vérifié que la contrainte principale est souvent représentée par la capacité des voies de chargement/déchargement, qui par conséquent est prise comme indicateur de la capacité globale du chantier, car il s'agit du minimum entre les deux formules calculées.

5.5 La prise en compte de la capacité de stockage

Souvent un autre élément contraignant dans le fonctionnement d'un C.T. est représenté par la capacité des espaces de stockage.

La capacité de stockage peut être estimée par la formule suivante, proposée par Sartor:

$$Cs = \frac{\frac{As}{Ac} * Hc * Cs}{Tsm * Fp} \qquad [3]$$

Où:

- *Cs* est la capacité de stockage exprimée en EVP ou FEU[126];
- *As* est l'aire de stockage disponible exprimée en m^2;
- *Ac* est l'aire d'encombrement moyenne fournie dans le tableau 5;
- *Hc* est le nombre d'unités superposables;
- *Cs* est un coefficient de sous-exploitation de l'aire de stockage, exprimé en m^2;
- *Tsm* est le temps moyen de stockage exprimé en jours;
- *Fp* est un coefficient de pic des trafics qui réduit la capacité totale pour éviter la saturation du chantier.

[125] Ce coefficient a été introduit pour tenir compte du fait que dans certains chantiers on utilise les portiques roulants et en même temps les chariots. Ce coefficient varie entre 0 (les chariots ne sont pas utilisés) et 1 (les chariots sont utilisés tout le temps).

[126] FEU *forty equivalent units* indique la mesure en équivalent 40 pieds. Dans le calcul de la capacité de stockage les UTI ne peuvent pas être considérées comme unité de mesure de référence car il faut connaître l'encombrement réel des unités.

Aire d'encombrement moyen des conteneurs (m^2)		
	20' (EVP)	40'(FEU)
Portique roulant	16,7	32,86
Chariot	18	35

Tableau 5 Aire d'encombrement moyen des conteneurs (source Sartor)

Ce calcul se réfère toujours à une capacité commerciale liée à des paramètres techniques (As,As,Hc,Cs), commerciaux (Tsm,Fp) et industriels (car il faut prendre en compte aussi le nombre de jours d'activité dans l'année). Certains paramètres sont difficiles à estimer. Le fait que la capacité de stockage soit exprimée en EVP ou FEU rend nécessaire une conversion pour la rapporter à l'estimation précédente exprimée en UTI.

5.6 La formulation de la capacité selon la procédure opérationnelle de RFI[127]

La procédure opérationnelle de RFI pour l'estimation de la capacité des C.T. prend en compte aussi un autre facteur qui influence la capacité globale d'un C.T.: la capacité des faisceaux amont du chantier et de la voie de service entre le triage et le chantier.

La capacité est cette fois exprimée en matériels par jour où le terme matériel indique :

- Les trains par jour si la longueur des voies de chargement/déchargement est égale ou supérieure à la longueur des trains ;
- Si, à l'inverse, la longueur des voies de chargement/déchargement est inférieure à la longueur des trains, cela oblige à découper les trains en deux ou plusieurs parties, d'où la notion de matériel.

La capacité globale résultante est le minimum entre les formulations suivantes :

5.6.1 Le faisceau de réception

$$C_{comm/ggFA} = \frac{t_{uMdm}}{t_{atFA}} * q_{MdM} \qquad [4]$$

Où:

$C_{com/ggFA}$	Capacité commerciale du faisceau de réception
t_{uMdm}	Temps journalier d'utilisation des locomotives de manœuvre dans le faisceau (minutes)

[127] RFI : Rete Ferroviaria Italiana

t_{atFA}	Temps de l'opération faite par la locomotive de manœuvre (minutes)
q_{Mdm}	Nombre de locomotives de manœuvre utilisées en même temps dans le faisceau (numéro entier voire fractionnaire)

5.6.2 La voie de service

$$C_{comm/ggBcoll} = t_{uMdM} * q_{MdM} * \frac{V_{Mbc}}{L_{Bcoll} * 2 * (3 + k)} \quad [5]$$

Où:

$C_{comm/ggBcoll}$	Capacité commerciale de la voie de service pour l'aller-retour entre le triage et le chantier
t_{uMdm}	Temps d'utilisation des locomotives de manœuvre (heures)
q_{Mdm}	Nombre de locomotives de manœuvres disponibles (nombre entier voire fractionnaire)
V_{mbc}	Vitesse sur la voie de service (km/h)
L_{bcoll}	Longueur de la voie de service (km)
k	Coefficient d'augmentation en cas de présence d'aiguillages (9,5)

5.6.3 Le chantier de transbordement

$$C_{comm/ggTC} = \frac{t_{uGru}}{t_{atTC}} * q_{Gru} \quad [6]$$

Où:

$C_{com/ggTC}$	Capacité commerciale du chantier de transbordement (C.T.)
t_{uGru}	Temps d'utilisation des équipements (minutes)
t_{atTC}	Temps de l'opération de chargement/déchargement (minutes)
q_{Gru}	Nombre d'équipements disponibles (nombre entier voire fractionnaire)

5.6.4 Le faisceau de triage (éventuel)

$$C_{comm/ggPiazz} = \frac{t_{uMdM}}{t_{atPiazz}} * q_{Mdm} \quad [7]$$

Où:

$C_{comm/ggPiazz}$	Capacité commerciale du faisceau de triage pour les wagons
t_{uMdm}	Temps d'utilisation des locomotives de manœuvre (minutes)

t_{atPiaz}	Temps de l'opération réalisée par la locomotive de manœuvre (minutes)
q_{Mdm}	Nombre de locomotives de manœuvres disponibles (nombre entier voire fractionnaire)

5.6.5 Le faisceau d'attente au départ

$$C_{commFP} = \frac{t_{uMdm}}{t_{atFP}} * q_{Mdm} \quad [8]$$

Où:

C_{commFP}	Capacité commerciale du faisceau d'attente au départ
t_{uMdm}	Temps d'utilisation des locomotives de manœuvre (minutes)
t_{atFP}	Temps de l'opération réalisée par la locomotive de manouvre (minutes)
q_{Mdm}	Nombre de locomotives de manœuvres disponibles (nombre entier voire fractionnaire)

5.7 Une formulation globale de la capacité des chantiers de transbordement

La formulation globale de la capacité des C.T. prend en compte les formulations précédentes dans une approche plus globale, à travers une procédure de calcul formalisée dans un algorithme (figure 28).

Etant donné que la capacité globale du chantier est limitée tout d'abord par la capacité des faisceaux amont et par la voie de service, on calcule en principe la capacité globale exprimée en matériels par jour grâce à la formule opérationnelle de RFI :

$C_{mat/g} = \min (C_{com/ggFA}, C_{comm/ggBcoll}, C_{com/ggTC}, C_{comm/ggPiazz}, C_{commFP})$ [9]

Ce calcul, qui exprime le nombre maximal de matériels par jour qui peuvent être traités par le chantier, permet de calculer le coefficient dynamique, c'est-à-dire le nombre maximal de matériels par voie (FF) :

$$FF = \frac{C_{mat/g}}{Nb} \quad [10]$$

Ce coefficient, inséré dans l'équation [1], permet d'exprimer la même capacité en UTI/an.

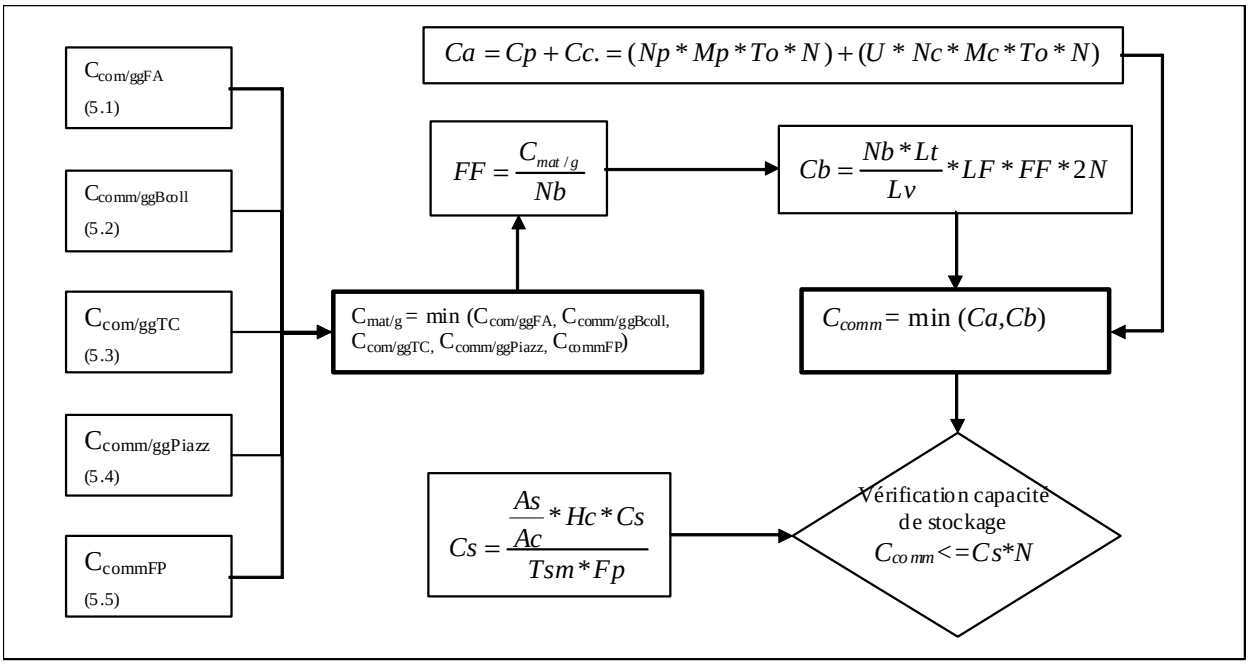


Figure 28 Formalisation de l'algorithme de calcul de la capacité commerciale d'un chantier de transbordement

A ce stade, en accord avec la formulation proposée par l'EIA, la capacité commerciale est calculée comme le minimum entre la capacité des voies et celle des équipements.

La dernière étape consiste à vérifier la capacité de stockage.

F. L'estimation de la capacité d'un chantier de transbordement: le cas du terminal Hupac à Busto Arsizio – Gallarate

Le terminal Hupac à Busto Arsizio – Gallarate a été élargi en 2005, et il présente les caractéristiques suivantes:

- *11 portiques et 2 chariots opérationnels sur 4 modules pour un total de 11 voies (7290 mètres);*
- *locomotives de manœuvrs qui effectuent le service sur une voie de 3 km;*
- *Aire de stockage de 36.600 m2 sur une surface totale de 242.800 m2.*
- *Activité journalière de 19 heures pour environ 270 jours sur l'année;*
- *Trafic mixte de conteneurs, caisses mobiles et semi-remorques avec limitation du temps de stockage;*
- *En 2005 le terminal opérait 23 trains par jour pour un trafic total de 281.000 UTI équivalent à 5 millions de tonnes.*

L'application de la procédure opérationnelle de RFI détermine un nombre maximal de trains par jour égal à 25.

Le coefficient dynamique est donc égal à 2,3 ; il permet d'estimer une capacité des voies égale à 450.000 UTI par an.
On doit bien évidement considérer cette valeur comme une limite théorique, car elle ne prend pas en compte d'une part le taux de wagons vides et d'autre part la longueur réelle des voies (car en Italie les trains sont limités à 550 mètres de longueur).
La capacité de stockage est aussi vérifiée, en raison du court temps d'attente des unités car le terminal, à la différence d'autres sites, n'offre pas la possibilité de stocker la marchandise pendant longtemps.

Pour valider la formulation de la capacité proposée une application a été faite à partir des données fournies par la DUSS en Allemagne (voir chapitre IV).

La comparaison entre l'estimation de la capacité calculée à travers la formulation proposée et les données fournies par la DUSS donne des résultats très satisfaisants (figure 29).

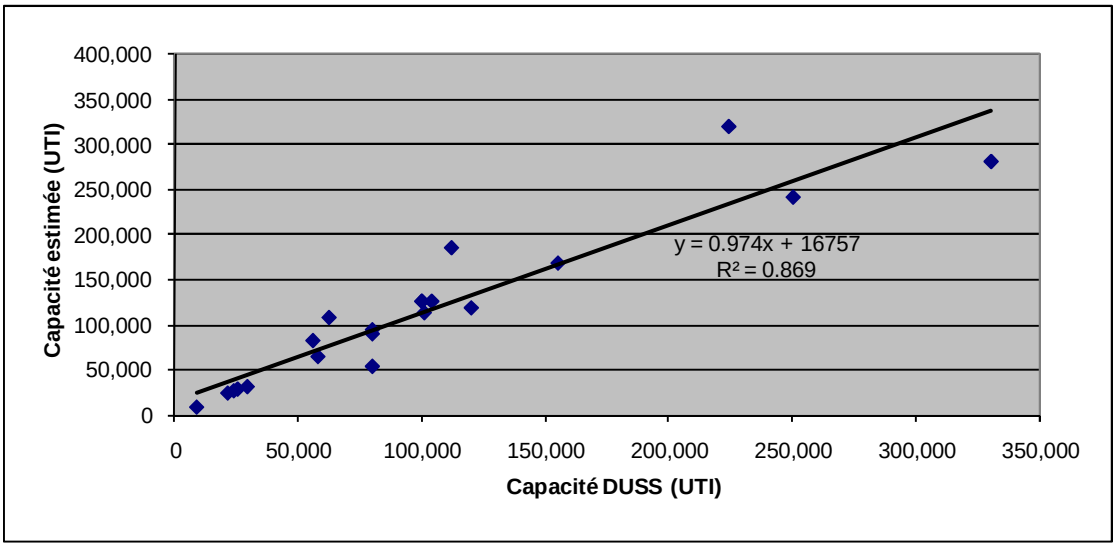


Figure 29 Validation de la formulation proposée pour l'estimation de la capacité des C.T.

5.8 L'estimation de la productivité

La mesure de la productivité des C.T. permet de compléter l'analyse des performances des chantiers en les comparant entre eux et surtout avec ceux des pays étrangers. Comme on l'a montré au chapitre IV, les performances du transport combiné en France sont nettement inférieures à celles des pays voisins, l'Allemagne et l'Italie en particulier.

Une possible explication est due à l'excessive dispersion des trafics sur un nombre trop élevé de chantiers (figure 30).

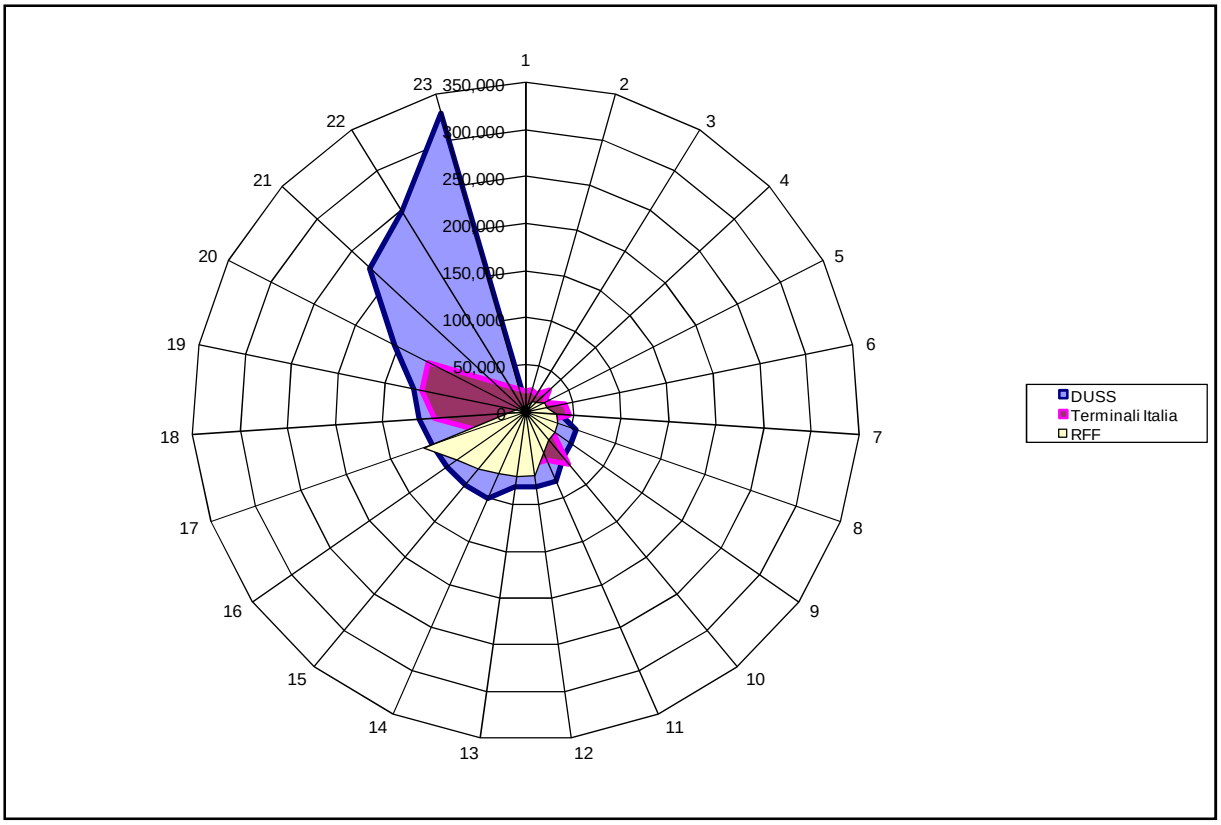


Figure 30 Comparaison de la capacité des C.T. entre l'Allemagne (DUSS), l'Italie (Terminali Italia) et la France (RFF)

Alors que le nombre de chantiers est plus ou moins équivalent dans les trois cas[128], la taille des chantiers est plus grande en Allemagne qu'en Italie ou en France car l'aire la plus grande dans le graphique représente le cas allemand. Cela dit, on concentrera l'analyse sur la comparaison entre les chantiers italiens et français, qui présentent des caractéristiques techniques similaires mais un mode de gouvernance différent (chapitre IV).

5.8.1 La fonction de production des chantiers de transbordement

Pour estimer la productivité des C.T. il est d'abord nécessaire de choisir une fonction de production : la fonction de production Cobb-Douglas est la plus répandue pour tenir compte des économies d'échelle.

Si on considère deux principaux facteurs de production, la fonction de production est de la forme suivante :

$Y = A\ X^{\alpha}\ Z^{\beta}$

Où :

[128] Le nombre de chantiers dans le graphique de la figure 5.4 est de 23 en Allemagne, 20 en Italie et 17 en France : il s'agit du nombre de chantiers retenu dans l'analyse et pas le total des chantiers sur le territoire.

- A est le facteur de productivité total (en anglais *total factor productivity*) dont l'interprétation est souvent contestée ;
- X,Z sont les deux facteurs de production ;
- α,β sont les deux paramètres qui permettent de déterminer les économies d'échelle, car :

- Si $\alpha + \beta < 1$ on a des déséconomies d'échelle ;
- Si $\alpha + \beta = 1$ les économies d'échelle sont nulles (rendement constant) ;
- Si $\alpha + \beta > 1$ on a des économies d'échelle.

Dans le cas des C.T., les deux principaux facteurs de production sont les voies et les portiques. Pour tester les économies d'échelle il faut en conséquence appliquer la fonction de production à ces deux paramètres par rapport au trafic généré par le chantier.

5.8.2 Analyse de la productivité des chantiers de transbordement

L'estimation de la productivité des C.T. est fournie dans le tableau 6.

Chantier	*Longeur des voies*	*Capacité*	*UTI (2007)*	*Gestionnaire*	*Portiques*	*TFP*	*a*	*b*	*a+b*
AVIGNON COURTINE	3392	67 840	69 675	Novatrans	3	1	1,177152	1,440199	2,617352
Bari	1650	33 413	38 000	Terminali Italia	4	1,000004	1,203773	1,1736	2,377374
Bologna	4800	97 200	100 000	Terminali Italia	4	0,999961	1,027066	2,026109	3,053175
Brescia	1800	36 450	40 000	Terminali Italia	3	1,000003	1,242941	1,165066	2,408007
Brindisi	900	18 225	24 000	Terminali Italia	2	1,000003	1,373758	1,068798	2,442556
Castelguelfo	1400	28 350	42 000	Terminali Italia	3	1,000003	1,289459	1,187063	2,476521
Catania Bicocca	2000	40 500	38 000	Terminali Italia	5	1,000006	1,138069	1,177173	2,315242
Gela	300	6 075	8 000	Terminali Italia	2	0,999978	1,446924	1,057287	2,504211
Lamezia Terme	300	6 075	5 000	Terminali Italia	2	0,999996	1,366056	1,045578	2,411634
Livorno	1300	26 325	15 000	Terminali Italia	1	1	1,341121	1	2,341121
Marcianise	1500	30 375	18 000	Terminali Italia	3	1,000002	1,181852	1,051173	2,233025
Milano Certosa	1200	24 300	48 000	Terminali Italia	4	1,000007	1,271235	1,273505	2,54474
Milano S.to	2000	40 500	69 000	Terminali Italia	7	1,000005	1,062516	1,575121	2,637637
Milazzo	400	8 100	6 200	Terminali Italia	2	0,999982	1,33671	1,040687	2,377396
NOISY LE SEC	3560	71 200	64 686	Novatrans	4	1,000001	1,111189	1,435684	2,546873
Orbassano	2000	40 500	29 500	Terminali Italia	4	1,000003	1,152121	1,107255	2,259376
Padova	2800	56 700	25 000	Terminali Italia	4	1,000013	1,088562	1,07166	2,160222
Palermo	900	18 225	7 000	Terminali Italia	2	1,000015	1,197561	1,022385	2,219946
PERPIGNAN (*)	2310	46 200	39 762	Novatrans	1	1	1,36742	1	2,36742
Pescara	300	6 075	7 000	Terminali Italia	2	1,000093	1,425653	1,053965	2,479618
Roma S.to	500	10 125	20 000	Terminali Italia	2	1,000005	1,473858	1,073679	2,547536
Segrate	4020	81 405	94 000	Terminali Italia	6	1,00004	0,94519	2,011799	2,956989
SETE	1200	24 000	15 843	Novatrans	1	1	1,363958	1	2,363958
TOULOUSE FENOUILLET	1875	37 500	29 618	Novatrans	2	1,000005	1,267482	1,07257	2,340051
VALENTON 1	5700	114 000	116 009	Novatrans/Décor/T3M	2	1	1,199736	1,855371	3,055107
VENISSIEUX	3910	78 200	17 311	Naviland / Novatrans	6	1	0,280464	4,115745	4,396209
Verona	5000	101 250	280 000	Terminali Italia	11	0,997824	0,99232	1,709091	2,701411

Tableau 6 Estimation de la productivité des C.T. à travers une formulation de la fonction de production Cobb-Douglas

Différents éléments sont à prendre en compte à partir de ces résultats :

- Tout d'abord, l'estimation est plutôt bonne car le résidu aléatoire (TFP) reste constant ;
- Cela dit, deux points sont à remarquer : le chantier de Vénissieux qui présente une utilisation sous optimale[129] et le chantier de Vérone qui travaille en dynamique[130] ;
- En général tous les chantiers présentent des rendements d'échelle croissants ;
- Les économies d'échelle sont partagées entre les deux facteurs de production de façon plus ou moins équivalente : chaque chantier présente des caractéristiques propres.

Cette analyse confirme le propos selon lequel une rationalisation du nombre des C.T. favorisera l'émergence d'économies d'échelle importantes pour les opérateurs de transport combiné.

5.9 Conclusions

Dans ce chapitre nous avons proposé une méthodologie simplifiée pour l'estimation de la capacité des chantiers de transbordement. Elle est basée sur des valeurs moyennes qui ne prennent pas en compte les variations aléatoires des paramètres. Cependant, cette méthodologie permet d'estimer une capacité globale et d'identifier les facteurs limitants. Cela permet notamment d'évaluer la nécessité d'intervention soit sur le plan infrastructurel, soit au niveau de l'organisation du terminal, pour en améliorer le fonctionnement et la capacité.

L'estimation de la productivité des C.T. à l'aide des fonctions de production de type Cobb-Douglas permet enfin d'évaluer les économies d'échelle liées à l'utilisation des facteurs de production : les voies et les portiques. L'analyse de ces facteurs montre l'existence d'économies d'échelle importantes en fonction de la taille des chantiers : en conséquence la rationalisation du nombre des chantiers est nécessaire afin d'améliorer les performances du système de transport combiné.

[129] A cause de la restructuration de Naviland Cargo.
[130] Avec un coefficient dynamique équivalent à 3, c'est-à-dire 3 trains par jour par voie de chargement.

6 L'analyse économique et financière du transport combiné

6.1 Introduction

L'analyse économique du transport combiné porte en général sur la concurrence entre le transport routier et le transport ferroviaire de marchandises[131], alors que peu d'études ont analysé l'ouverture à la concurrence au sein même du marché du transport combiné rail-route[132]. Or, l'ouverture à la concurrence du fret ferroviaire en France et en Europe entraîne ce type de concurrence entre les différents acteurs du transport combiné.

Le chapitre analyse d'abord comment appliquer la théorie économique de la concurrence au cas du transport combiné rail-route (section 2), notamment à travers la théorie des jeux. La section 3 analyse l'évaluation financière des opérateurs de transport combiné et la section 4 les nouveaux investissements nécessaires pour le développement des trafics. Enfin la section 5 analyse les aides publiques au transport combiné en France, en essayant d'établir un bilan économique des opérations de financement du transport combiné inscrites dans le programme CPER 2007-2013.

L'objectif de ce chapitre est de démontrer à travers l'analyse économique et financière la validité de la thèse développée au chapitre IV, c'est-à-dire la nécessité d'une rationalisation du nombre et de la localisation des chantiers de transbordement en France.

6.2 L'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises

Dans le cas du transport combiné rail-route en France trois scénarios principaux se dessinent :

- Le *statu quo* n'est pas envisageable, car la part de marché des opérateurs de transport combiné reste faible alors que dans les autres pays d'Europe les opérateurs sont beaucoup plus performants (chapitre IV) ;
- La restructuration des opérateurs existants (Novatrans et Naviland Cargo) au sein de la SNCF (chapitre 4) permettrait l'émergence d'un opérateur national de taille comparable aux autres opérateurs existants ;

[131] Il s'agit là d'un cas de concurrence intermodale, qui a été analysé entre autres par Ivaldi M. (2007)
[132] Il s'agit dans ce cas d'une concurrence intra-modale, où les acteurs sont toujours contraints par la concurrence avec le mode routier.

- Dans le cas de l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises, le marché du transport combiné se trouve exposé à la concurrence d'autres opérateurs de transport combiné plus performants.

Avec l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises, plusieurs opérateurs historiques (SNCF,FS,DB,etc.) ont décidé de créer des filiales dans des pays étrangers (SNCF Fret Italia, Railion, etc.) afin de conquérir des parts de marchés de plus en plus importantes. Les stratégies des opérateurs peuvent être analysées à l'aide de la théorie des jeux, comme expliqué dans l'encadré ci-dessous.

G. Les oligopoles et la théorie des jeux

La théorie de jeux, dont l'origine est fixée avec la sortie du livre de Von Neumann et Morgenstern « Theory of Games and Economic Behavior » *permet d'analyser les choix des entreprises qui se concurrencent dans un marché oligopolistique.*

Dans le modèle d'équilibre de Cournot-Nash on suppose que chaque producteur maximise son profit en modifiant sa production, ce qui permet de calculer l'équilibre économique à partir de simples hypothèses sur la fonction de demande et de production.

Si on prend par exemple une fonction de demande du type :

$P = a - b\,(q1 + q2)$

Où q1 et q2 sont les quantités produites par les deux entreprises et si on suppose que le coût marginal c est constant, on obtient la quantité optimale à produire :

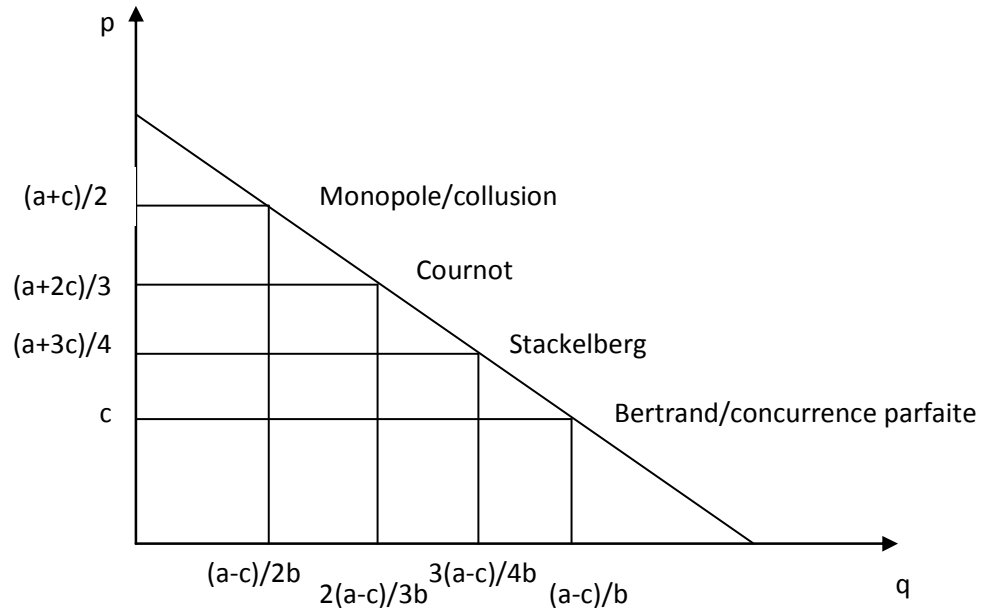
$q1^* = q2^* = (a - c)/3b$

Le modèle de Bertrand suppose par contre que la compétition se joue sur le prix plutôt que sur la quantité : dans ce cas, si les entreprises produisent des biens homogènes avec une structure de coûts équivalente, l'équilibre se réalise seulement si le prix est égal au coût marginal, ce qui reproduit un marché en concurrence parfaite (paradoxe de Bertrand).

*Le modèle de Stackelberg prend en compte le fait que les choix des entreprises ne sont pas simultanés mais séquentiels : il y a en conséquence une entreprise qui fait le premier choix (*leader*) et la deuxième qui s'adapte (*follower*). Dans ce cas, si la compétition se joue sur les quantités, le prix d'équilibre est égal à :*

$P^* = (a + 3c)/4$

La figure suivante montre les différents équilibres possibles entre le monopole et la concurrence parfaite :

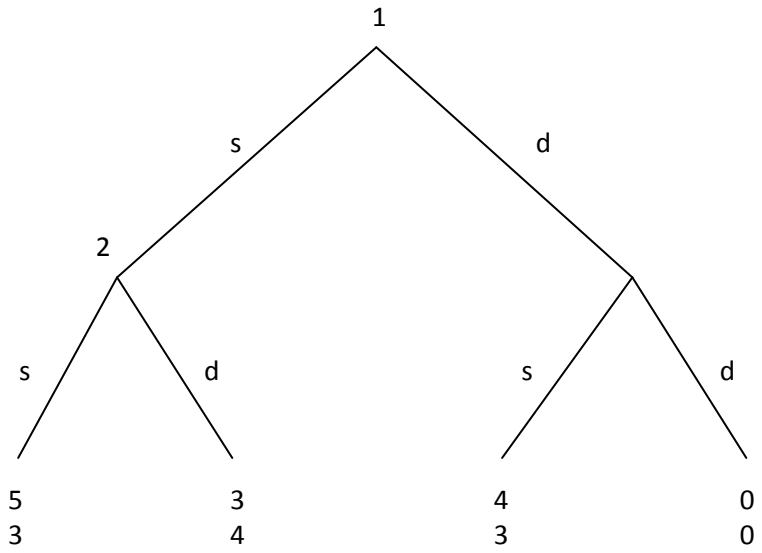


La théorie des jeux permet de résoudre les interactions stratégiques des acteurs en recourant à des formalismes mathématiques (matrices et graphes) dans différentes situations, en particulier :

- *Les jeux coopératifs ou non-coopératifs selon que les acteurs peuvent ou pas passer des accords ;*
- *Les jeux statiques ou dynamiques selon que les choix sont simultanés ou séquentiels ;*
- *Les jeux à information complète ou incomplète selon que les acteurs connaissent ou pas toutes les informations du jeu ;*
- *Les jeux à information parfaite ou imparfaite, selon si chaque acteur connaît l'historique du jeu.*

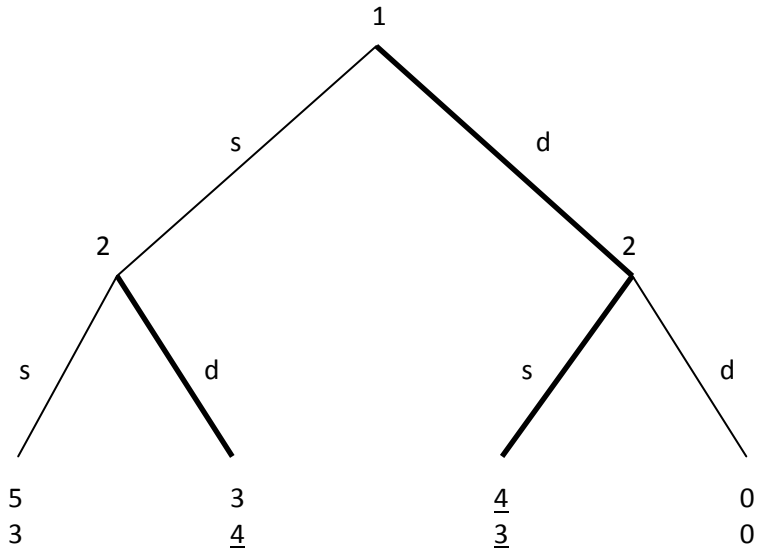
Ici, on s'intéresse en particulier aux jeux non coopératifs, dynamiques, à information complète et parfaite, dont les échecs sont l'exemple le plus familier.

Un jeu de ce type peut être décrit à travers l'arbre de la figure suivante :



*A chaque nœud de l'arbre il y a les possibles résultats du jeu (*pay-off*).Pour déterminer la stratégie optimale il faut résoudre le jeu à reculons (*backward induction*).*

Il faut d'abord trouver la solution optimale pour les arbres terminaux et ensuite remonter l'arbre jusqu'à l'origine : la solution qui permet d'arriver à l'origine de l'arbre est la solution optimale du jeu.



Dans ce cas, par exemple, la stratégie optimale pour le joueur 2 est (d,s), *c'est-à-dire «* d *» si le joueur 1 a choisi «* s *» et «* s *» si le joueur 1 a choisi «* d *».*

Par contre pour le joueur 1 la solution optimale est « d *», en conséquence la solution du jeu est* {d,s}, *ce qui amène au résultat optimal* (4,3).

Le jeu peut être représenté aussi en forme normale, c'est-à-dire sous forme de matrice.

2 1	(s,s)	(s,d)	(d,s)	(d,d)
s	5,3	5,3	3,4	3,4
d	4,3	0,0	4,3	0,0

La matrice représente les résultats qu'on obtient pour chaque combinaison de stratégie des joueurs.

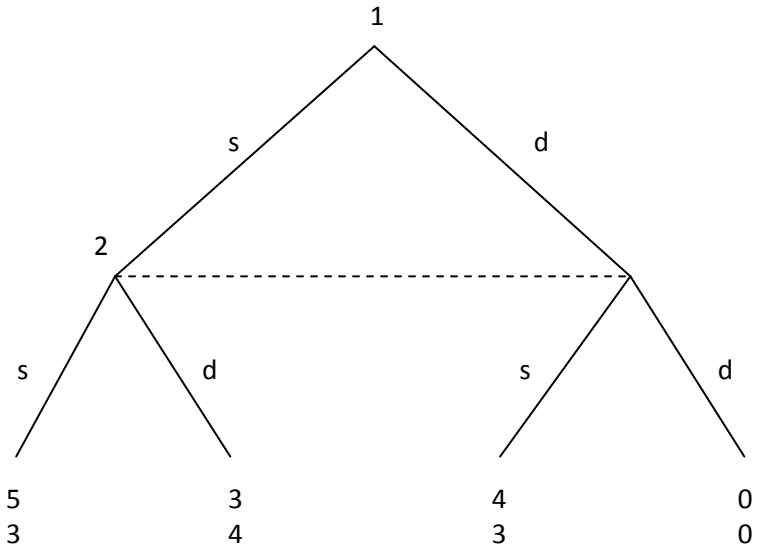
Ainsi le joueur 1 possède deux stratégies seulement (s,d)*, alors que le joueur 2 possède 4 stratégies possibles* (s,s), (s,d), (d,s) *et* (d,d).

Par exemple le résultat (5,3) *correspond à la combinaison* (s,(s,s))*, mais aussi à la combinaison* (s,(s,d)) *parce que dans les deux cas le joueur 2 va choisir* « s ».

Pour chaque combinaison on souligne le résultat optimal de chaque joueur vis-à-vis de la stratégie de l'autre joueur : on obtient de cette façon deux équilibre de Nash possible (3,4) et (4,3).

Par contre, dans ce cas, il est évident que la stratégie (d,d) *du joueur 2 est une menace non crédible pour le joueur 1 : même si le joueur 2 voulait maximiser son profit en gagnant 4, il ne peut pas faire croire au joueur 1 qu'il est toujours opportun de vouloir jouer* « d ». *Mais puisque le risque est de tout perdre si le joueur 1 choisit à son tour la stratégie* « d »*, la menace est non crédible.*

Il faut aussi noter que si on suppose que l'information du même jeu est imparfaite (les acteurs ne connaissent pas l'histoire du jeu), le résultat du jeu est différent.



Dans ce cas le joueur 2 ne connaît pas le coup que le joueur 1 a fait et en conséquence le joueur 1 ne peut plus prévoir la réponse du joueur 2.

La matrice des résultats détermine à nouveau la stratégie optimale :

2 1	s	d
s	5,3	3,4
d	4,3	0,0

Dans ce cas le joueur 1 a perdu l'avantage du premier coup, car le résultat (3,4) *est plus favorable au joueur 2 par rapport au cas précédent.*

Dans le cas de l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises on peut supposer qu'il s'agit d'un jeu non coopératif (pas d'accord possible entre les acteurs) à information complète et parfaite (voir encadré G).

On suppose que les nouveaux entrants ont des coûts de production moins élevés (16 euros le train/km contre une moyenne de 20 euros le train/km) et qu'il y a la possibilité de pratiquer une guerre des prix en baissant le prix de vente de 10% par rapport à la demande initiale (modèle de Stackelberg).

En France, en 2007, la SNCF a produit environ 16 millions de trains/km en transport combiné[133], ce qui se traduit par une fonction de demande de ce type :

$p = 36 - Q$

$Q = q_1 + q_2$

$C_1 = c_1 q_1 = 20 q_1$

$C_2 = c_2 q_2 = 16 q_2$

Si on applique le modèle de Stackelberg, tout d'abord le nouvel entrant (follower) essaie de maximiser son profit en fonction des actions de l'opérateur dominant (leader) :

$$max_{qF=q2} \Pi_F = max_{qF=q2} (36 - q_L - q_F) q_F - 20 q_F$$

$$\frac{\delta \Pi_F}{\delta q_F} = 16 - q_L - 2 q_F = 0$$

$$q_F = R_F(q_L) = \frac{16 - q_L}{2}$$

Où RF indique la fonction de réaction du nouvel entrant.

Ensuite l'opérateur historique va maximiser son profit tout en tenant compte de la fonction de réaction du nouvel entrant :

[133] Il ne faut pas confondre le fait que la SNCF était en régime de monopole dans le transport ferroviaire avec le fait que le transport combiné a toujours été en concurrence avec le mode routier : *de facto* la SNCF était obligée de facturer ses services au coût marginal (RFF, LBF 2008).

$$max_{qL=q1}\Pi_L = max_{qL=q1}(36 - q_L - q_F)q_L - 20q_L$$

$$= max_{qL=q1}\left(36 - q_L - \frac{16 - q_L}{2}\right)q_L - 20q_L$$

$$= max_{qL=q1}\,(8 - \frac{q_L}{2})q_2 \frac{\delta\Pi_L}{\delta q_L} = 8 - q_L$$

$$q_L^* = 8$$

En substituant ce résultat dans la fonction de réaction du nouvel entrant on obtient :

$$q_F^* = 4$$

Ce résultat est assez révélateur : l'opérateur historique va perdre la moitié de son marché, alors que le nouvel entrant gagne 25% de la part du marché initial, qui par contre va baisser dans la même proportion (-25%).

Avec ces nouveaux résultats on peut aussi calculer le prix d'équilibre et les profits pour les deux entreprises :

$p^* = 36 - q_L^* - q_F^*$ =24

$$\Pi_L^* = (p^* - c_L)q_L^* = 32$$

$$\Pi_F^* = (p^* - c_F)q_F^* = 32$$

Les deux entreprises vont en conséquence réaliser le même profit avec deux parts de marché totalement différentes en raison de la différence de coûts de production.

L'analyse suggère en conséquence que l'opérateur historique va réagir à cette situation à travers des acquisitions hostiles pour maintenir sa part de marché et ses profits et en même temps le nouvel entrant peut décider une invasion importante du marché de l'opérateur historique. Les deux opérateurs ont aussi la possibilité de baisser les prix pour conquérir des parts de marché plus importantes : toutes ces stratégies peuvent être analysées à l'aide de la théorie des jeux (figure 31)

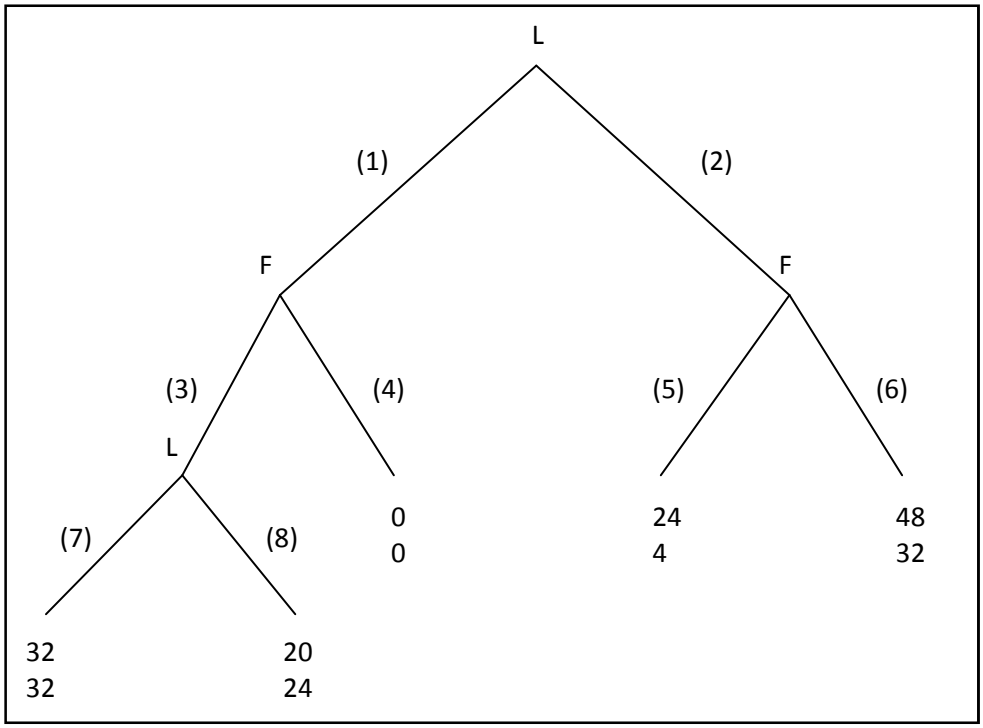


Figure 31 Représentation en arbre des stratégies possibles

La figure montre les différentes stratégies possibles :

(1) L'opérateur historique va maintenir le *statu quo* ;

(2) L'opérateur historique procède à une acquisition hostile dans le territoire du nouvel entrant ;

(3) Le nouvel entrant opte pour une invasion du territoire de l'opérateur historique ;

(4) Le nouvel entrant décide de ne pas entrer dans le territoire de l'opérateur historique ;

(5) Suite à l'acquisition hostile de l'opérateur historique sur son propre territoire, le nouvel entrant opte pour une baisse des prix sur son propre territoire et l'invasion du territoire de l'opérateur historique ;

(6) Suite à l'acquisition hostile de l'opérateur historique sur son propre territoire, le nouvel entrant opte seulement pour l'invasion du territoire de l'opérateur historique ;

Pour résoudre le jeu il faut recourir à la *backward induction* (tableau 7).

F L	(3,5)	(3,6)	(4,5)	(4,6)
(1,7)	32,32	32,32	0,0	0,0
(1,8)	20,24	20,24	0,0	0,0
(2)	24,4	48,32	24,4	48,32

Tableau 7 Représentation en forme normale du jeu

Dans ce cas, il y a deux équilibres possibles : l'invasion du nouvel entrant sans réaction sur le prix de l'opérateur historique ou l'acquisition par l'opérateur historique sans réaction sur le prix du nouvel entrant sur son propre territoire.

Le premier équilibre correspond au modèle de Stackelberg calculé précédemment.

Le deuxième équilibre de Nash a été calculé à partir des hypothèses suivantes :

On suppose tout d'abord que le nouvel entrant produit sur son propre territoire également à son coût marginal (16 euros/train-km) et que le niveau de production est équivalent (16 millions de train-km), ce qui détermine une fonction de demande de ce type :

$$p = 32 - Q$$

L'opérateur historique décide en conséquence de procéder à une acquisition hostile dans le territoire du nouvel entrant. Si le nouvel entrant ne réagit pas en baissant les prix sur son propre territoire, on obtient le résultat suivant :

$$p^* = 32 - q_L^* - q_F^* = 20$$
$$\Pi_L^* = (p^* - c_L)q_L^* = 32$$
$$\Pi_F^* = (p^* - c_F)q_F^* = 16$$

A ces profits il faut ajouter les profits réalisés dans le territoire de l'opérateur historique.

Le résultat de cette analyse est assez important : il montre que les opérateurs historiques ont intérêt à réaliser des acquisitions à l'étranger parce que dans leur propre pays ils ne peuvent pas réaliser de profits. Cela s'explique par plusieurs facteurs :

- Tout d'abord le fait que les prix pratiqués dans leurs propre pays sont égaux au coût marginal ou même négatifs (à perte) pour des raisons historiques ;
- Ensuite parce que il y a un décalage entre les coûts de production d'un pays à l'autre qui peuvent dépendre de la productivité aussi bien que du niveau de péage ;

Il est important aussi de noter que si l'opérateur historique n'ouvre pas son marché à la concurrence étrangère, il réalisera un profit beaucoup plus faible, mais la production dans son propre pays restera plus élevée (contrainte politique).

Le résultat de l'analyse montre que l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises entraîne initialement une contraction du transport ferroviaire, ce qui s'explique par le fait que les opérateurs historiques ont la nécessité de se concentrer sur les trafics plus rentables pour résister à la concurrence des nouveaux entrants, qui souvent sont des filiales des opérateurs historiques des pays voisins.

En conséquence, la politique d'ouverture à la concurrence fortement encouragée par l'Union Européenne et les Etats membres, se traduit par un résultat contraire à son objectif initial, c'est-à-dire la croissance de la part modale du transport routier de marchandises, l du

fait du caractère imparfait de cette ouverture à la concurrence, en raison de la sous-tarification du transport routier qui entraîne une baisse des prix dans le marché du transport de marchandises[134].

Il s'agit bien évidement d'un résultat de court terme, qui ne prend pas en compte le fait que les profits se traduisent sur le long terme par des investissements qui pourraient améliorer les performances du transport ferroviaire des marchandises et en conséquence leur part modale par rapport au transport routier.

Néanmoins il est important de noter que l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire des marchandises ne se traduit pas automatiquement par une hausse de la part de marché du transport ferroviaire en l'absence de mesures complémentaires de soutien au transport ferroviaire et à la compétition intermodale dans le transport de marchandises.

H. La création d'une société de gestion unique pour les chantiers de transport combiné

La fusion des deux principaux opérateurs de transport combiné en France comporterait évidemment la fusion des plateformes dans lesquelles les opérateurs sont installés : cette fusion serait d'autant plus bénéfique qu'elle permettrait d'importantes économies d'échelle et d'envergure pour le système du transport combiné (chapitre IV et V).

Pourtant la question est de savoir comment évaluer la compensation financière entre les deux opérateurs car chaque opérateur possède des installations fixes (bâtiments) et des équipements (portiques) sur chaque chantier qui doivent être amortis dans les temps.

Il s'agit d'effectuer des prévisions de trafics sur toute la période d'amortissements et de les comparer entre deux solutions différentes :

- *Dans le cas où chaque opérateur conserve son propre terminal ;*
- *Dans le cas où les deux fusionnent dans une société mixte dans laquelle chaque opérateur détient 50%*[135] .

En conséquence la compensation optimale entre les deux opérateurs peut être calculée à travers la formulation suivante :

$$Min\ (VAN_{2A} - VAN_{1A} - K) * (VAN_{2B} - VAN_{1B} + K)$$

$$K = [(VAN_{2A} - VAN_{1A}) - (VAN_{2B} - VAN_{1B})] / 2$$

[134] Le niveau sous-optimal de tarification du transport routier de marchandises se traduit aussi par un faible niveau de rentabilité de tous les projets qui concernent le fret ferroviaire (voir Hammiche S., Denant – Boémont L., 1997).

[135] Compte tenu du niveau comparable des trafics entre Novatrans et Naviland Cargo. Néanmoins ce niveau de participation devrait être calculé pour chaque chantier en fonction de la répartition des trafics entre les deux opérateurs, ce qui modifie de façon proportionnelle la formule de compensation.

Où:

VAN_2 est la valeur actuelle nette du cash flow pour chaque opérateur dans le cas de la fusion des chantiers ;

VAN_1 est la valeur actuelle nette du cash flow pour chaque opérateur dans le cas de la conservation de son propre chantier ;

K est la compensation entre les deux

En particulier si K>0, la compensation doit être versée par l'opérateur A à l'opérateur B et inversement.

Pour pouvoir appliquer ce type de calcul il faut en conséquence établir le bilan financier des opérateurs de transport combiné.

6.3 L'analyse des flux financiers dans le cas du transport combiné

Le transport combiné est une activité assez difficile à évaluer du point de vue financier car les opérateurs de transport combiné sont souvent des filiales des opérateurs ferroviaires ou des sociétés détenues par plusieurs actionnaires. Si on s'intéresse plus particulièrement aux chantiers de transbordement, l'analyse est presque impossible car aucune société de transport combiné ne distingue cette activité du reste de ses activités (transport ferroviaire, transport routier, activités logistiques, etc.). En ce sens, la création d'une filiale spécifique pour la gestion des chantiers de transbordement en Italie (chapitre IV) a permis d'analyser les comptes d'un exploitant de plateformes pour le transport combiné et de transposer ce résultat au cas français.

Les relations entre acteurs dans une chaîne de transport combiné avaient été déjà introduites au paragraphe 4.3. Pour rappel la figure 32 synthétise ces relations.

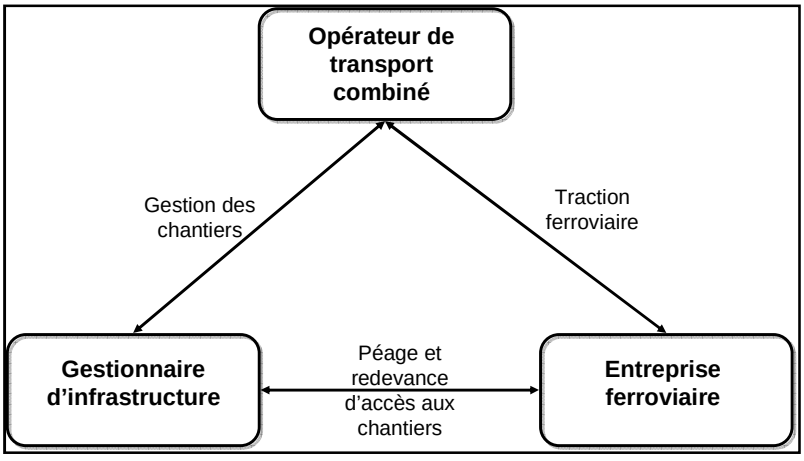


Figure 32 Relations entre acteurs dans le système du transport combiné

L'objectif de ce paragraphe est de quantifier les flux financiers entre les différents acteurs afin de dresser un bilan global de l'activité de transport combiné en France. Pour évaluer ce bilan[136], il faut d'abord identifier et quantifier pour chaque acteur du système les recettes et les coûts d'exploitation supportés, ce qui est fourni dans le tableau 8 suivant.

Acteur	**Elément**	**Recettes**	**Coûts**	**EBE**
Gestionnaire d'infrastructure (RFF)	*Redevance d'infrastructure*	*41.9*	*120.3*	*(-78.4)*
	Redevance chantier	1.0	-	1.0
	COT	3.6	-	3.6
Opérateur ferroviaire (SNCF)	Traction ferroviaire	194.1	270.4	-76.3
Opérateur de transport combiné	Transport combiné	393.5	322.8	70.7
TOTAL hors subvention « coup de pince »				**-1 M€**
TOTAL avec subvention « coup de pince »				**6.8 M€**

Tableau 8 Estimation du bilan global du transport combiné en France en 2006

Ce bilan est calculé à partir de différentes sources disponibles pour l'année 2006[137].

Une analyse approfondie est pourtant nécessaire pour analyser en détail les différents postes du bilan et comprendre les hypothèses qui sont à la base de ce calcul.

6.3.1 Le gestionnaire d'infrastructure

Pour le gestionnaire de l'infrastructure, l'activité de transport combiné se traduit par des sillons de transport combiné sur le réseau ferroviaire d'une part, par la redevance d'accès aux chantiers de transport combiné et par la « convention d'occupation temporaire » (COT) pour les chantiers de transbordement qui lui appartiennent d'autre part. Les sillons de transport combiné et la redevance d'accès aux chantiers sont facturés directement aux entreprises ferroviaires alors que la COT est facturée directement aux opérateurs de transport combiné via des sociétés de gestion des activités immobilières de RFF.

[136] Au sens du compte de résultat et pas du bilan comptable.

[137] Considérée comme la dernière année fiable : après la SNCF a restreint l'accès à ses propres statistiques comptables sans tenir compte de l'impact de la crise économique à partir de 2008 qui a fortement impacté le transport combiné (chapitre IV).

A partir de la base de données de RFF sur les sillons il est en conséquence possible d'estimer les recettes et les coûts de l'activité de transport combiné sur la base du prix moyen et du coût marginal moyen d'un sillon de transport combiné. En moyenne, le prix du sillon de transport combiné se situait à l'époque à environ 1,5 €/train-km alors que le coût marginal était estimé en moyenne à environ 4,3 €/train-km.

Le bilan pour le gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire est en conséquence fortement négatif même s'il faut souligner que l'estimation du coût marginal se réfère à une infrastructure mixte alors que les coûts marginaux engendrés par un train de marchandises devraient être rapportés à une infrastructure dédiée au fret. Cela est possible uniquement pour les lignes capillaires fret, c'est-à-dire des petites lignes[138] où ne circulent que des trains fret. Pourtant, le niveau de performance de ces lignes n'est absolument pas comparable au reste du réseau (vitesse des sillons, signalisation, électrification, etc.) ce qui modifie sensiblement les coûts d'exploitation, de maintenance et de renouvellement.

La difficulté de l'analyse suggère néanmoins de ne pas intégrer l'élément « redevance d'infrastructure » dans le bilan global même s'il faut garder à l'esprit que le transport ferroviaire de marchandises engendre des pertes importantes pour le gestionnaire de l'infrastructure.

La convention d'occupation temporaire (COT) a été évaluée à travers la formule suivante :

$COT = 80{,}51\ €^{2006} * LV$

Où :

COT est le montant de la redevance annuelle d'usage y compris les frais d'entretien des équipements ferroviaires ;

LV est la longueur linéaire des voies du chantier de transbordement.

La formulation s'applique seulement aux chantiers existants avant 1997, d'où l'approximation sur le montant global de la COT dans le tableau 6.2[139].

La redevance d'accès aux chantiers de transport combiné est fixée chaque année dans l'horaire de service sous la forme d'un tarif par chantier et par mois, proportionnelle à la longueur des voies. Son montant a été calculé seulement pour les chantiers où il y a une activité de transport combiné.

[138] Ces lignes représentent pourtant 13% du réseau ferré national et on estime que 10% des tonnes-brutes-circulées-km (TBC.km) ont comme origine ou destination ce type de ligne.

[139] Pour les chantiers ouverts après 1997 (Hourcade, Lomme, Gevrey, Sète et Valenton 2) RFF applique le calcul « article 4 » de son statut qui prévoit une analyse financière avec taux d'amortissement à environ 5% sur 30 ans pour les projets régionaux inscrits aux CPER (y compris les chantiers de transbordement).

6.3.2 L'opérateur ferroviaire

Pour l'opérateur ferroviaire le transport combiné demeure une activité déficitaire en l'absence de subventions publiques[140], car fortement concurrencée par le transport routier sur des segments de marché très spécifiques (messagerie, articles manufacturés, etc.).

Le bilan a été calculé à partir des données comptables de la SNCF (recettes) et des charges en supposant un coût de traction de 16€/train-km[141], ce qui fournit un résultat fortement déficitaire. Cela s'explique par le fait que le transport combiné est une activité intégrée rail-route dont la marge réside dans l'intégration des maillons ferroviaire et routier et pas seulement dans chacun des deux maillons séparément. Il faut en conséquence prendre en compte le bilan de l'opérateur de transport combiné tout court, dont la gestion est souvent intégrée à celle de l'opérateur ferroviaire[142].

6.3.3 L'opérateur de transport combiné

L'estimation des coûts et des recettes pour les opérateurs de transport combiné demeure très difficile en l'absence de bilans clairs des sociétés de transport combiné[143]. L'analyse suivante s'inspire largement des travaux de l'ADEME (2006) dont les hypothèses et les calculs ont été retravaillés afin de fournir une estimation fiable des flux financiers.

Une des erreurs le plus répandues dans ce genre d'analyse est la confusion qui s'installe entre la notion de coût et de prix : par exemple le prix de revient de l'opérateur ferroviaire se transforme en un coût pour l'opérateur de transport combiné, qui à son tour pratique un prix pour le client final. Entre le coût et le prix, il y a forcément une marge, qui peut être aussi négative, ce qui se vérifie par exemple pour l'opérateur ferroviaire dans le cas du transport combiné.

L'estimation du prix de revient représente sans doute l'élément le plus délicat de l'analyse en l'absence d'informations fiables et à cause de la grande instabilité du marché : la plupart des comparaisons se base sur les prix pratiqués par le transport routier de marchandises, qui à

[140] Pour rappel la subvention « coup de pince » était au départ destinée à la SNCF et a ensuite été transférée directement aux opérateurs de transport combiné sur demande de la Commission Européenne.
[141] L'ADEME (2006) donne une fourchette comprise entre 16 et 22 €/train-km.En conséquence, l'estimation est très prudente vis-à-vis de l'opérateur ferroviaire.
[142] Cela explique d'autant plus que les opérateurs ferroviaires soient fortement intéressés par le contrôle des sociétés de transport combiné à travers une participation financière ou par des acquisitions directes.
[143] Les bilans de Novatrans et Naviland Cargo ont été déduits du bilan de SNCF Participations : en 2006 Naviland Cargo était bénéficiaire à l'hauteur de 9,3M€, alors que Novatrans était à l'équilibre. Le bénéfice dans le tableau 6.2 est en conséquence hypothétique parce qu'il ne prend en compte ni les investissements ni les amortissements, mais seulement l'excédent brut d'exploitation, dont on ne connaît pas le montant exacts. Il faut aussi considérer que Novatrans et Naviland Cargo réalisent seulement la moitié des trafics de transport combiné en France (chapitre IV).

leur tour sont déduits des coûts du transport routier issus des données CNR[144]. Or, la plupart des experts s'accorde à souligner que les prix pratiqués par le marché sont plus faibles de ceux issus de l'enquête pour la longue distance[145].

Les prix de revient pour le transport combiné ont été estimés à partir des données de l'ADEME (2006) qui fournit une fourchette comprise entre 0,65 et 0,85 €/km de trajet ferroviaire pour une caisse mobile dans la tranche de poids 16/25 tonnes, y compris les transbordements dans les plateformes[146].

L'estimation des coûts pour l'opérateur de transport combiné se base sur trois éléments :

1. La traction terminale routière ;
2. Les opérations aux terminaux ;
3. Le maillon ferroviaire.

La traction terminale routière présente un coût moyen plus élevé que celui issu des données CNR en raison de la faible distance[147] : 1,5 €/UTI-km.

Le coût des opérations aux terminaux se décompose en deux parties : la COT payée au gestionnaire de l'infrastructure pour l'utilisation du chantier et les coûts de transbordement des UTI[148]. Ce dernier étant évalué à environ 30 €/coup de pince[149], en rapportant la COT par train et par UTI[150], on obtient un coût total pour les opérations aux terminaux d'environ 130€/UTI.

Le coût du maillon ferroviaire pour l'opérateur de transport combiné est égal au prix de revient pour l'opérateur ferroviaire, ce qui fournit une estimation d'environ 0.25€/UTI-km, équivalent en moyenne à 200€/UTI.

Le coût total de la chaîne de transport combiné pour l'opérateur de transport combiné fourni dans le tableau 6.2 dérive en conséquence de la somme de ces trois éléments.

---

[144] CNR : Comité national routier, fournit une évaluation mensuelle des principaux indicateurs de coûts du transport routier des marchandises et du prix de revient long distance.

[145] On ne possède pas d'éléments ni pour confirmer ni pour démentir cette thèse.

[146] Le prix de revient de la traction routière n'a pas été inclus car certains opérateurs ne fournissent pas ce service (Novatrans) alors que d'autres le font (Naviland Cargo).

[147] L'hypothèse selon laquelle la distance entre plateforme et chargeur est faible est confirmée par l'analyse de la demande de transport combiné au chapitre IV, qui montre que la plupart des flux routiers de conteneurs et caisses mobiles pour le chapitre NST9 se situe au niveau régional. Il faut néanmoins souligner que des enquêtes cordons aux chantiers transbordement permettraient de mieux estimer ces valeurs.

[148] Si on suppose que les flux sont équilibrés, pour un train qui transporte N unités entre deux chantiers, le coût de transbordement total serait proportionnel à 4N.

[149] L'estimation (ADEME) a été validée par comparaison avec les données du bilan d'exercice de Terminali Italia (chapitre IV).

[150] Chaque mois en 2006, on comptait environ 2000 trains de transport combiné avec 50 UTI en moyenne.

6.3.4 Bilan global et considérations

Le bilan global montre un passif assez faible[151], d'où l'importance du dispositif d'aide « coup de pince » afin d'améliorer globalement le bilan. L'analyse par acteur demeure fondamentale pour dresser un bilan global de l'activité de transport combiné sur l'année 2006.

Ayant exclu l'impact du bilan du gestionnaire de l'infrastructure[152], le transport combiné donne un résultat plus ou moins équilibré entre l'opérateur ferroviaire (déficitaire) et l'opérateur de transport combiné (bénéficiaire), d'où la nécessité pour les opérateurs ferroviaires d'intégrer ou contrôler les sociétés de transport combiné. Ces dernières peuvent aussi améliorer leurs comptes par des activités complémentaires, telles la traction routière et les activités logistiques.

L'analyse financière montre en conséquence des marges assez faibles pour le développement du transport combiné, surtout si on considère la nécessité d'effectuer de nouveaux investissements, qui demandent en conséquence un concours important des ressources publiques.

6.4 L'analyse financière des nouveaux investissements

Le transport combiné nécessite d'importants investissements aussi bien sur le réseau ferré[153] que sur les installations terminales. Etant donné qu'il existe une vaste littérature sur le financement des projets, l'analyse se concentrera sur des éléments capables d'apporter un éclairage méthodologique, plutôt que sur un exercice de calcul financier pour des projets donnés. En particulier, on considère que l'analyse financière et surtout l'impact du montage financier dans le cadre des investissements dans les plateformes de transport combiné, demeure assez fragile, hormis l'apport de quelques études scientifiques (Tsamboulas, Kapros, 2003) et plusieurs rapports sur le sujet (Daubresse, 1997), (Savy, 1998), (Matheu, 2003), qui se concentrent davantage sur l'évaluation des politiques publiques.

Un exemple concret, celui de l'extension du terminal de Saint Charles à Perpignan, permet de montrer la complexité du montage financier dans ce genre d'investissements (figure 33).

[151] Etant donné l'impact des différentes hypothèses sur les calculs, il est impossible de déterminer si le transport combiné en 2006 était déficitaire ou non. Le bilan montre néanmoins la fragilité du système dans une année considérée mauvaise mais stable (chapitre IV), alors que l'impact de la crise économique survenue en 2008 a eu des effets encore plus importants sur la baisse des trafics.

[152] Il faut aussi souligner qu'avec la reforme de la tarification de 2010, le décalage entre péage et coût marginal pour le fret ferroviaire est couvert par une subvention de la part de l'Etat.

[153] Notamment la mise à gabarit des lignes et des tunnels ferroviaires.

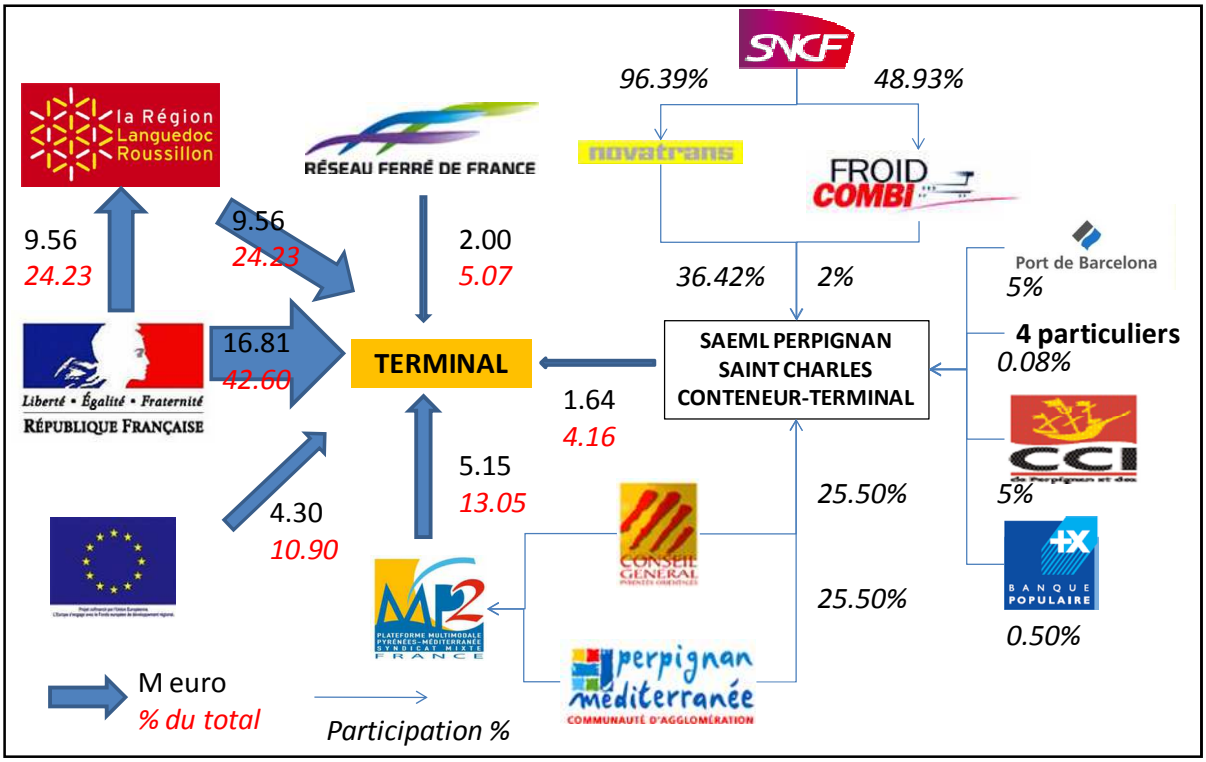


Figure 33 Montage financière de l'extension du terminal de transport combiné de Perpignan St. Charles

En particulier il faut noter que la plupart des fonds de financement (environ 75%) provient directement des fonds publics (Etat, région[154], UE), le reste étant constitué principalement de fonds publics indirects (RFF et sociétés mixtes dans lesquelles les collectivités territoriales détiennent des participations). La gestion du terminal étant confié à la même société d'économie mixte locale[155], dont le taux de participation au financement du projet est très faible (4.16%), on peut se poser la question de savoir s'il s'agit d'un financement public ou privé[156].

Comme évoqué au paragraphe 6.2.2, l'opportunité de créer une société de gestion des chantiers de transport combiné repose sur la valeur financière de cette société hypothétique, qui à son tour dérive du bilan financier de cette société. Pour évaluer ce bilan on pourrait prendre comme référence le cas du terminal de Perpignan St. Charles (tableau 9)

[154] Financement de l'Etat dans le cadre des CPER (Contrat de plan Etat-Régions).
[155] Les raisons de ce choix sont principalement fiscales (Daubresse, 1997).
[156] Ce qui n'est pas négligeable en termes de taux de rentabilité interne du projet. Pourtant aucun des rapports précédemment cités n'a analysé cet aspect.

Acteur	Elément	Recettes	Coûts	EBE
Gestionnaire d'infrastructure (RFF)	Redevance chantier	77.903	-	77.903
	COT	194.028	-	194.028
Opérateur ferroviaire (SNCF)	Manœuvres ferroviaires	*1.425.000*	*77.903*	-
Opérateur de transport combiné	Activité du chantier	4.000.000	4.019.028	-19.028
TOTAL hors subvention « coup de pince »				**0.25 M€**
TOTAL avec subvention « coup de pince »				**0.75 M€**

Tableau 9 Estimation du bilan financier pour le chantier de transport combiné de Perpignan St. Charles

Avant de calculer la rentabilité interne du projet, il est important d'analyser les hypothèses à la base de ce calcul. Pour le gestionnaire d'infrastructure (RFF), les principales recettes liées à l'activité du chantier sont celles dérivant de la COT payée par les opérateurs installés sur le chantier et la redevance chantier payée par les opérateurs ferroviaires, comme évoqué précédemment. Pour l'opérateur ferroviaire, les recettes dérivent des manœuvres ferroviaires payées par l'opérateur de transport combiné[157], alors que les coûts concernent aussi les redevances chantier requises par le gestionnaire d'infrastructure. En l'absence d'un bilan pour ce type d'activité il est impossible de définir si l'activité de l'opérateur ferroviaire dégage une marge positive, négative ou neutre pour les manœuvres ferroviaires[158].

Pour l'opérateur de transport combiné qui gère le chantier, les recettes et les coûts dérivent principalement[159]de l'activité de transbordement des UTI, dont les montants unitaires ont été estimés à partir du bilan global précédent (tableau 6.2)[160]. Cela montre en particulier que la seule activité de gestion des chantiers de transbordement (sans activité logistique) est

[157] L'estimation du coût des manœuvres ferroviaires est très variable selon l'ADEME (2006) : la fourchette se situe entre 8 et 25 € le wagon. Ici on fait l'hypothèse de 25 € le wagon, qui semble confirmé par les tarifs des installations terminales embranchées (ITE) proposés par Fret SNCF dans ses conditions commerciales de vente.
[158] Il est intéressant de noter dans ce cas l'évolution de VFLI, filiale de la SNCF, spécialisée dans les manœuvres ferroviaires qui s'est transformée à partir de 2006 en un opérateur de fret ferroviaire.
[159] Les recettes dérivent aussi des activités logistiques du chantier, qui ne sont pas prises en compte dans ce bilan.
[160] On estime en moyenne les recettes à 100 €/UTI et les coûts à 30€/coup de pince, ce qui se traduit par 60€/UTI (parce qu'il y a deux coups de pince).

légèrement déficitaire[161], même si cela dépend fortement de l'impact du coût des manœuvres ferroviaires.

Le bilan de l'activité de transport combiné sur le chantier de Perpignan St. Charles est en conséquence légèrement bénéficiaire pour l'année 2007[162], sans ou avec la prise en compte de la subvention de coup de pince[163].

Pour calculer la rentabilité totale du projet il est nécessaire de comparer les recettes futures avec l'investissement global. Si on considère que le projet prévoit un doublement du trafic du chantier, l'estimation du bilan financier peut être valide aussi dans le cas de recettes futures. En particulier le calcul de la valeur actuelle nette du projet est donnée par la formule suivante :

$$VAN = \sum_{k} \frac{CF - I}{(1+i)^k}$$

Où :

CF est le *cash-flow* du projet ;

I est l'investissement nécessaire ;

i est le taux d'actualisation[164] ;

k est l'année

Le *cash-flow* du projet est lié à la prévision des trafics futurs du chantier et à l'évolution des coûts de gestion, d'où la formule suivante :

*CF = (Ru – Cu) * UTI*

Où

Ru est la recette unitaire par UTI ;

Cu est le coût unitaire par UTI ;

UTI est le nombre d'unités supplémentaires à traiter.

Pour le terminal de Perpignan St. Charles on prévoit un doublement du trafic (40.000 UTI supplémentaires) alors que les coûts unitaires pourraient baisser en raison des économies

[161] Ce qui est à nouveau confirmé par comparaison avec les données du bilan d'exercice de Terminali Italia (chapitre IV).
[162] Le trafic 2007 était d'environ 40.000 UTI et 57.000 wagons.
[163] Ce qui démontre que cette subvention est destinée principalement à couvrir les pertes liées à la traction ferroviaire, point qui sera approfondi à la section. 6.4.
[164] Le taux d'actualisation des opérations inscrites aux CPER pour RFF est de 8% (taux du marché plus taux de risque) sur une durée de 30 ans. Il ne faut pas confondre ce taux avec celui de l'évaluation socio-économique, qui est fixé à 4% (CGP, 2005).

d'échelle[165]. A partir de cette estimation, la VAN demeure négative[166] sur une durée de 30 ans avec un taux de rentabilité interne (TRI) d'environ 4,42%, tous acteurs confondus.

La rentabilité financière du projet d'extension du terminal de transport combiné de Perpignan St. Charles est en conséquence insuffisante[167], d'où le recours nécessaire au financement public du projet.

6.5 L'analyse des politiques publiques dans le cas du transport combiné rail-route

L'analyse financière du transport combiné montre la fragilité économique du système actuel et en conséquence la nécessité de recourir aux fonds publics pour garantir son développement[168]. Il est pourtant nécessaire d'analyser quelle modalité de financement publique est la plus efficace par rapport aux objectifs fixés, c'est-à-dire la croissance de la part de marché du transport combiné (et ferroviaire) par rapport au transport routier de marchandises.

L'analyse de l'efficacité des politiques publiques concerne principalement l'impact du dispositif « coup de pince » utilisé en France et la réalisation des nouvelles plateformes rail-route prévues dans le cadre des Contrats de Plan Etat-Régions (CPER).

6.5.1 Les aides publiques au transport combiné en France

L'analyse des aides publiques au transport combiné en France repose principalement sur l'évaluation des résultats obtenus par rapport aux moyens financiers publics engagés contenue dans le rapport « Les comptes des transports en 2004 » (DAEI-SESP-INSEE, 2005), mise à jour grâce aux estimations de l'ADEME (2006).

En particulier, l'évaluation montre que le montant total de l'aide au transport combiné[169] est largement supérieur aux avantages socio-économiques, alors qu'une analyse par segment de marché permet d'identifier le champ d'efficacité des aides au transport combiné (figure 34). Il s'agit plus précisément des ces trois segments :

---

[165] Un bilan détaillé pour le terminal de Pomezia, près de Rome, permet d'évaluer les économies d'échelle pour ce type d'estimation : on prévoit en conséquence un coût unitaire d'environ 20€/coup de pince.
[166] Compte tenu du taux d'actualisation à 8% prévu par RFF sur les opérations inscrites aux CPER.
[167] Il ne faut pas confondre la rentabilité financière avec la rentabilité socio-économique du projet, qui prend en compte les facteurs liés aux externalités (pollution, gains de temps, etc.).
[168] L'opportunité de soutenir le transport combiné réside principalement dans les bénéfices en termes de réduction de CO2 et des émissions liées au transport routier de marchandises (PACT, 2003).
[169] *En moyenne annuelle, sur la période 1999-2003, 71 millions d'euros ont été engagés pour le développement du transport combiné, auxquels s'ajoutent 100 millions d'euros de déficit non couvert des opérateurs* (source SAEI-SESP-INSEE, 2005)

- *Un premier segment où les trafics sont fortement déficitaires et dont les avantages socioéconomiques sont nettement inférieurs aux aides. Il s'agit en général plutôt de liaisons transversales très peu massifiées ;*
- *Un deuxième segment où les trafics sont légèrement déficitaires mais dont les avantages socioéconomiques sont supérieurs aux aides. Il s'agit en général de radiales ou de transversales mieux massifiées, avec des distances de parcours plus grandes que le segment 1;*
- *Un troisième segment où les trafics sont bénéficiaires en l'absence d'aides. Il s'agit essentiellement de radiales bien massifiées.*[170]

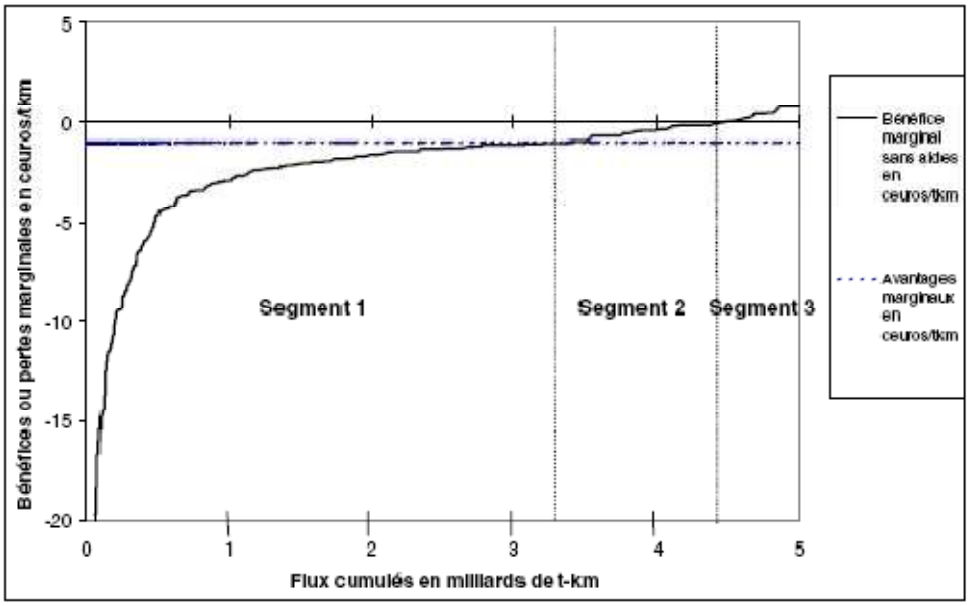


Figure 34 Efficacité des aides au transport combiné par segment de marché (source DAEI-SESP-INSEE, 2005)

Même si la démarche de l'étude citée reste valide et très intéressante, il faut souligner qu'à partir de 2004 le dispositif d'aides au transport combiné a été modifié afin d'être versé directement aux opérateurs de transport combiné sous forme d'aide au « coup de pince » au lieu d'être versé directement à la SNCF. En outre aucune évaluation n'a été menée sur l'efficacité des aides publiques concernant la réalisation des nouvelles plateformes rail-route[171].

Si on se réfère à nouveau au cas de la plateforme de Perpignan St. Charles une évaluation de ce type peut être tentée à partir des éléments suivants (tableau 10)

[170] Source : DAEI,SESP,INSEE (2005).
[171] Une analyse des volets ferroviaires du programme CPER 2000-2006 a été faite par le SETRA (2005) pour quantifier les montants des subventions sans pourtant arriver à évaluer l'efficacité des aides publiques.

Coûts	Montant (M€)	Avantages	Montant (M€)
Investissement nécessaire	39.4	Variation des prix pour les chargeurs	2.5
Subvention « coup de pince »	0.5	Variation d'EBE pour le gestionnaire du terminal	0.25
Perte de recettes de taxes (TIPP et essieu)	0.6	Réduction des nuisances et pollution	2.4

Tableau 10 Estimation du bilan socio-économique pour le chantier de transport combiné de Perpignan St. Charles

Le calcul a été réalisé à partir de l'estimation fournie par RFF, selon laquelle la réalisation du nouveau chantier évitera 14.000 tonnes par an d'émissions de CO2 : à partir de ce chiffre, en considérant des émissions moyennes de 70gCO2/t-km[172], on obtient un détournement d'environ 200Mt-km, équivalent en moyen à 12,5Mveh-km[173]. Avec ces estimations il est possible de calculer les pertes de recettes pour l'Etat liées à la TIPP et à la taxe à l'essieu[174] et en même temps les gains environnementaux liés au transfert modal[175]. Alors que la variation d'EBE pour le gestionnaire du terminal a été calculé dans le tableau 6.3[176], la variation des prix pour les chargeurs a été estimé en supposant un écart des prix entre la route et le transport combiné de 0,2 €/veh-km[177]. Tous ces résultats permettent en conséquence d'établir un bilan socio-économique pour le terminal de Perpignan St. Charles qui dégage une VAN positive sur 30 ans avec un TRI de 9.4%.

[172] Source : DAEI,SESP,INSEE (2005). En comparaison, l'ADEME estime une émission moyenne de 79 gCO2/t-km mais aussi une émission de 2,6 gCO2/t-km pour le transport combiné (source ADEME, 2006).
[173] En supposant une charge moyenne de 16 tonnes/veh.
[174] Le montant unitaire des taxes à été supposé égal à 4,86 c€07/veh.km à partir de la distribution des trafics PL sur le réseau observée dans le cas du transport routier de marchandises (34% autoroute, 40% réseau national, 19% routes départementales, 7% routes communales).
[175] Les études du SESP et l'estimation fournie par le programme Marco Polo s'accordent sur une valeur unitaire de 1,2c€/t-km détournée (source : DAEI,SESP,INSEE,2005).
[176] En réalité la méthodologie du SESP impose de distinguer la variation d'EBE pour les acteurs publics (RFF, opérateurs publics) qui sont compensés par l'Etat (et qui en conséquence reçoivent un aide publique) des opérateurs privés : pourtant dans le cas des plateformes pour le transport combiné la distinction n'est pas facile et ici on suppose que la plateforme est gérée par une entreprise privée ; de toute façon la marge dégagée est assez faible, ce qui ne compromet pas le résultat de l'analyse.
[177] L'ADEME (2006) fournit un prix de revient de 1,12€/km pour le TRM longue distance et une fourchette du prix de revient du transport combiné entre 0,65 et 0,85 €/km auquel il faut ajouter la composante « traction terminale routière » dont les prix de revient sont généralement plus élevés par rapport à la longue distance.

Le tableau 11 résume les résultats de l'évaluation financière et socio-économique pour l'extension du terminal de transport combiné de Perpignan St. Charles.

Bilan	**VAN (M€)**	**TRI (%)**
Financière	-12.0	4.4
Socio-économique	29.7	9.4

Tableau 11 Estimations du bilan financier et socio-économique pour le chantier de transport combiné de Perpignan St. Charles

Il s'agit bien évidemment d'une opération rentable du point de vue du financement public car elle dégage une rentabilité socio-économique assez élevée alors que la rentabilité financière demeure insuffisante.

6.5.2 Evaluation financière du volet transport combiné des CPER 2007-2013

Les contrats de plan Etat-Région (CPER) prévoient de nombreuses initiatives afin de développer le transport combiné et le transfert modal. Alors qu'une analyse a été menée par le SETRA sur les volets ferroviaires du programme CPER 2000-2006 pour chaque région, aucune évaluation de ces financements n'a été prévue afin d'estimer la rentabilité financière des projets et les classer en fonction de leur priorité[178].

L'idée de cette analyse est en conséquence d'appliquer les mêmes principes que ceux qui ont permis d'établir un bilan financier pour la plateforme de Perpignan - St. Charles afin de classer les opérations inscrites au programme CPER 2007-2013 en fonction de leur rentabilité. D'une part, l'estimation des trafics potentiels pour chaque région a été réalisée au chapitre IV, d'autre part les montants des investissements ont été déduits à partir du programme CPER[179] (tableau 12).

[178] Ces opérations échappent au bilan LOTI en raison de leur faible montant. Néanmoins il faut souligner que RFF effectue une analyse de rentabilité financière pour tous les projets qui engagent sa propre contribution financière.

[179] Il faut souligner que souvent les montants inscrits au CPER ne sont pas suffisants pour la réalisation des projets et ils peuvent aussi s'étaler sur plusieurs CPER (CPER 2000-2006 et CPER 2007-2013). Il est pourtant nécessaire de croiser ces informations avec d'autres sources (RFF, collectivités territoriales, etc.).

Région	Description du projet	Montant CPER (M€)	Accroissement trafic potentiel (UTI/an)
Alsace	Développement du transport combiné sur le Port Autonome de Strasbourg	21	6.500
Aquitaine	Modernisation du port autonome de Bordeaux et extension des plateformes de transport combiné de Mouguerre	15.84	12.000
Basse-Normandie	Modernisation des ports régionaux et développement de l'intermodalité	8	32.500
Bretagne	Plate-forme de transport combiné de Rennes et desserte de la plateforme de Châteaubourg	5.12	42.500
Centre	Création d'une plateforme d'autoroute ferroviaire	27	77.700
Champagne-Ardenne	Création de plateformes bi ou tri-modales légères à Givet (lien avec le port notamment), et Culmont-Chalindrey	8.3	18.300
Haute-Normandie	Moderniser les réseaux portuaires ferroviaires du Havre et de Rouen	35	260.000
Ile de France	Valenton II	67.7	60.000
Lorraine	Plateforme-multimodale	10	8.400
Midi-Pyrénées	Transport combiné	1	2.000
Nord Pas de Calais	Création de plateforme intérieure tri modale et développement des ports fluviaux	6	65.000
Poitou-Charentes	Plate-forme route – rail permettant le report du trafic de marchandises en lien avec le Port autonome de La Rochelle	5	33.000
PACA	Inter-modalité / Fret	25	10.300
Rhône-Alpes	Transports combinés : développer l'intermodalité pour les marchandises	10	41.000

Tableau 12 Opérations inscrites aux CPER pour le transport combiné

Les montants inscrits aux CPER ne concernent pas seulement la réalisation des plateformes mais de toute façon leur montant est souvent insuffisant pour la réalisation d'une plateforme

de transport combiné, ce qui signifie que l'analyse est très prudente aussi bien en termes d'estimation des trafics[180]qu'en termes d'investissements.

Pour classer les projets en termes de rentabilité socio-économique l'indicateur clé est la VAN par euro d'investissement public (Roy, 2005), qui doit être comparé avec le coût d'opportunité des fonds publics (COPP). Inversement, dans le cadre de l'évaluation financière, le critère de la VAN divisé par le montant de l'investissement est souvent utilisé comme indication préliminaire. La figure 35 montre :

- La VAN/I calculée avec un EBE de 40€/UTI (absence d'économies d'échelle) ;
- La VAN/I calculée avec un EBE de 60€/UTI (en présence d'économies d'échelle).

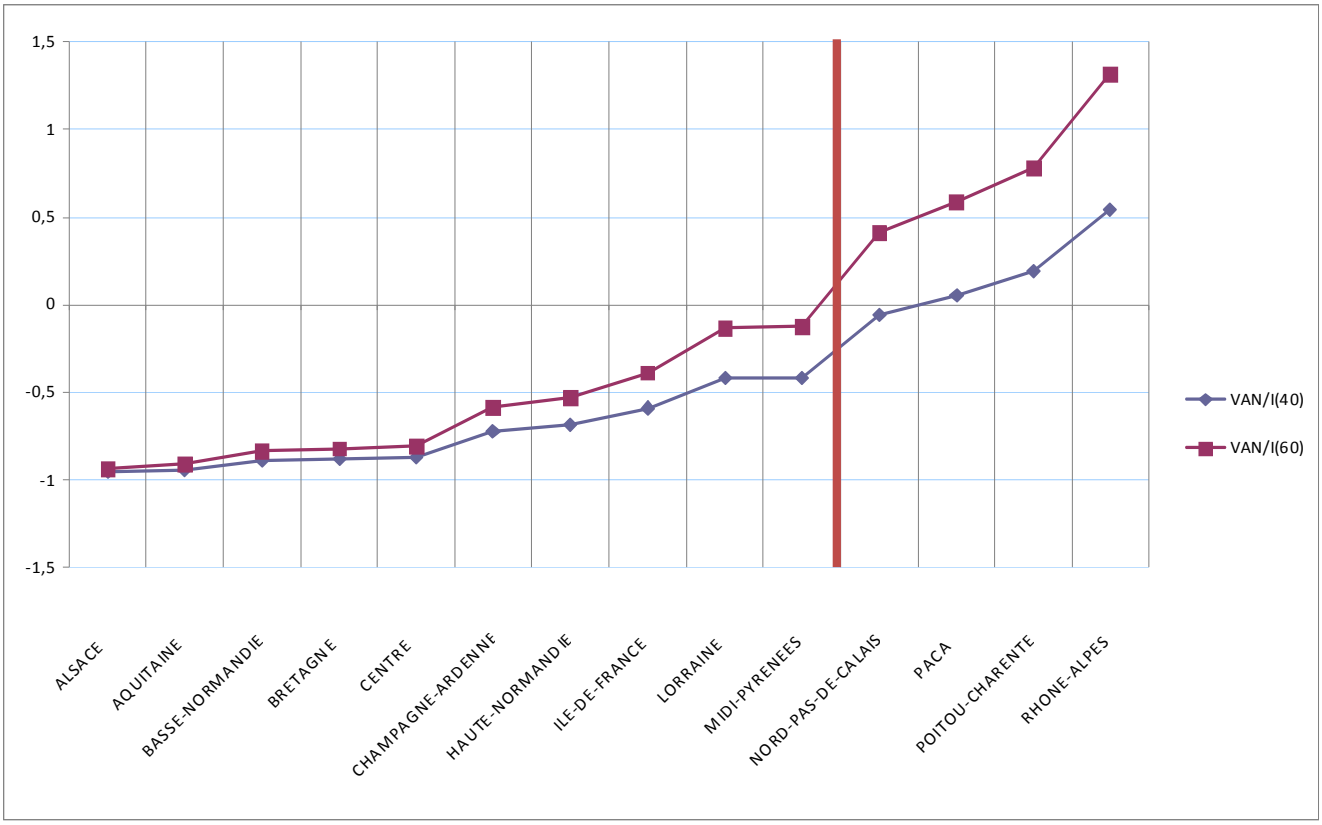


Figure 35 Rentabilité financière des opérations inscrites aux CPER pour le transport combiné selon le critère de la VAN/I en fonction de la variation d'EBE

Le graphique de la figure 6.5 permet en conséquence d'évaluer l'opportunité des opérations inscrites aux CPER dans chaque région, en particulier :

[180] Les trafics potentiels en UTI/an représentent l'accroissement possible estimé au chapitre IV et pas la totalité des trafics potentiels (trafic actuel + potentiel) tel qu'il apparaît dans le graphique de la figure 4.15.

- Les opérations qui présentent un rapport VAN/I négatif ne sont pas du tout rentables du point de vue économique (VAN<0) : il s'agit en conséquence de projets qui ont un intérêt seulement du point de vue des politiques d'aménagement du territoire ;
- Les opérations qui présentent un rapport VAN/I positif présentent une rentabilité financière qui varie en fonction du taux de rentabilité interne (TRI), (tableau 13).

CPER volet transport combiné	**TRI (EBE 40-EBE 60)**
Bretagne	10 - 20%
Haute Normandie	9 - 17%
Nord-Pas-de-Calais	16 – 30%
Poitou-Charentes	14% (EBE 60)

Tableau 13 Rentabilité financière des opérations inscrites aux CPER pour le transport combiné selon le critère du TRI en fonction de la variation d'EBE

Les opérations inscrites aux CPER des ces quatre régions sont les seules rentables du point de vue financier même s'il faut souligner que les montants inscrits aux CPER du Nord-Pas-de-Calais et Poitou-Charentes apparaissent largement sous-estimés pour réaliser des nouvelles plateformes, alors que les projets des régions Bretagne et Haute Normandie concernent des opérations déjà en cours[181]. L'analyse confirme en conséquence la nécessité de concentrer les investissements sur les plateformes existantes dans une optique de rationalisation et de massification des flux de transport combiné, plutôt que les disperser sur de nombreux projets dont la rentabilité financière demeure insuffisante.

6.6 Conclusion

Ce chapitre a analysé le transport combiné rail-route du point de vue de sa rentabilité économique et financière. Plusieurs aspects sont à retenir de cette analyse :

1. Tout d'abord, l'analyse économique de l'impact de l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises révèle sur le court terme une contraction du marché d'environ 25% avec une part de marché des nouveaux entrants de la même hauteur (25%). Les entreprises ferroviaires pourront réinvestir leurs profits dans l'amélioration de la qualité du service mais il est nécessaire de prévoir des actions

[181] En particulier la plateforme de Rennes existe déjà et les opérations sur le Port du Havre concernent le projet Port 2000 dont le montant des investissements est largement supérieur au volet transport combiné du CPER.

politiques en faveur du fret ferroviaire qui est fortement concurrencé par le transport routier de marchandises surtout dans un segment comme le transport combiné ;

2. L'analyse des flux financiers dans le cas du transport combiné montre la fragilité économique du système qui n'arrive pas à financer ses propres besoins d'investissements hors subventions publiques. Dans le cas des chantiers de transbordement rail-route une estimation du bilan financier pour le terminal de Perpignan St. Charles, montre que le seuil de trafic minimal devrait se situer aux alentours des 40.000 UTI/an ;
3. L'analyse des politiques publiques en faveur du transport combiné met en évidence la nécessité de concentrer les aides sur les relations plus importantes en termes de trafic et en même temps de financer les investissements sur les plateformes existantes et performantes plutôt que de disperser les financements sur de nouvelles réalisations dont la rentabilité financière est très insuffisante compte tenu du faible potentiel de croissance des trafics.

Le résultat des analyses économique et financière du transport combiné rail-route, qui reposent elles-mêmes sur les estimations de trafic (chapitre IV) et de capacité (chapitre V), confirme en conséquence le propos de la thèse : la rationalisation du nombre et de la localisation des plateformes de transport combiné est nécessaire afin de soutenir son développent, qui s'inscrit dans le cadre d'une politique des transports plus soutenable en termes de développement durable.

7 Le financement des terminaux intermodaux et les partenariats public-privé

7.1 Introduction

L'analyse économique et financière du transport combiné rail-route (chapitre VI) montre la fragilité économique du modèle existant : dans ces conditions il est difficile pour les opérateurs de transport combiné de prévoir de nouveaux investissements alors qu'il s'agit d'une condition fondamentale pour développer le transport combiné.

La rationalisation du nombre et de la localisation des terminaux intermodaux permettrait de concentrer les investissements publics sur certains sites qui présentent une rentabilité économique et financière élevée : dans ce cas, il pourrait être intéressant de concevoir des opérations de financement des projets à travers des partenariats public-privé.

Ce chapitre s'inspire largement des pratiques relatives aux ports maritimes (section 2) qui présentent des caractéristiques similaires aux chantiers de transbordement rail-route (trafics, organisation, etc.…). La section 3 analyse les instruments financiers mis à disposition par l'Union Européenne dans le domaine des infrastructures de transport. La section 4 propose une méthode générale pour évaluer l'opportunité du montage financier de type PPP dans le cas des chantiers de transport combiné rail-route.

7.2 L'exemple des financements dans les terminaux à conteneurs maritimes

Les terminaux à conteneurs dans les ports maritimes présentent des caractéristiques similaires aux chantiers de transbordement rail-route : tous les deux sont en effet des terminaux intermodaux qui permettent le transbordement d'unités de transport intermodal (UTI) entre deux modes de transport ou plus (rail, route, fleuve, mer). La différence la plus remarquable entre les deux plateformes réside probablement dans l'effet de taille : les terminaux à conteneurs maritimes gèrent des trafics très importants (souvent plusieurs milliers voire millions d'UTI), alors que les chantiers de transbordement rail-route arrivent rarement à gérer plus de 100.000 UTI.

Pourtant l'organisation des deux plateformes est très similaire et souvent les synergies entre transport maritime et ferroviaire sont évoquées afin de développer le transport combiné. En réalité, en France, à la différence des ports de la Mer du Nord (Anvers, Rotterdam, Hambourg), les trafics de pré-post acheminent des conteneurs maritimes révèlent souvent du

transport routier et la part de marché du transport ferroviaire ou fluvial représente généralement moins de 20% de ces trafics[182]. Ces dernières années les opérateurs maritimes ont mis en place des stratégies afin de renforcer l'acheminent des conteneurs par voie ferrée ou fluviale, par exemple par le Rhône dans le cas de Marseille-Fos et la Seine pour Le Havre ou encore en créant des opérateurs ferroviaires spécialisés dans ce type de trafics (Rail Link Europe[183]).

En termes d'infrastructures plusieurs efforts sont à souligner : d'un côté la réforme des voies ferré portuaires[184] (VFP) a permis le transfert du domaine ferroviaire portuaire de RFF vers les Ports Autonomes (figure 36), afin d'améliorer la programmation des investissements et l'entretien du réseau, d'autre part des projets très importants comme Port 2000 au Havre[185] ou Fox 2XL à Marseille[186] ont été réalisés ou programmés afin d'incrémenter la capacité et la productivité des terminaux à conteneurs.

[182] Par exemple, à Marseille, en 2007, la part du transport ferroviaire dans l'acheminement de conteneurs représentait 13% et la part du transport fluvial 6.1% (source Port de Marseille). Au Havre, en 2008, la part du transport ferroviaire dans le transport de conteneurs était de 5.2% et la part du fluvial de 5.7% (source : Port du Havre).

[183] Rail Link Europe est une société détenue à 100% par CMA Rail, filiale du groupe CMA-CGM, troisième armateur mondial dans le transport maritime de conteneurs. La société à acheminé en 2008, 110.000 TEUs, puis 85.000 TEUs en 2009 à cause de la crise, principalement pour le compte d'armateurs maritimes (75%), (source : Rail Link Europe).

[184] Voir le rapport du Conseil Général des Ponts et Chaussées (Affaire n° 1998-0244-01) sur la refonte du cadre régissant les voies ferrées établies sur le domaine portuaire.

[185] Le projet Port 2000 concerne la réalisation de nouveaux terminaux à conteneurs en trois tranches pour un potentiel à terme de 12 postes à quai sur une longueur totale de plus de 4 kilomètres (source Port du havre).

[186] Le projet de Fos 2XL concerne la création de deux terminaux conteneurs pour un trafic potentiel de 800.000 conteneurs (source dossier de synthèse CNDP). La mise en service était initialement prévue en 2008 mais elle a été reportée plusieurs fois, aussi à cause de l'impact de la crise économique.

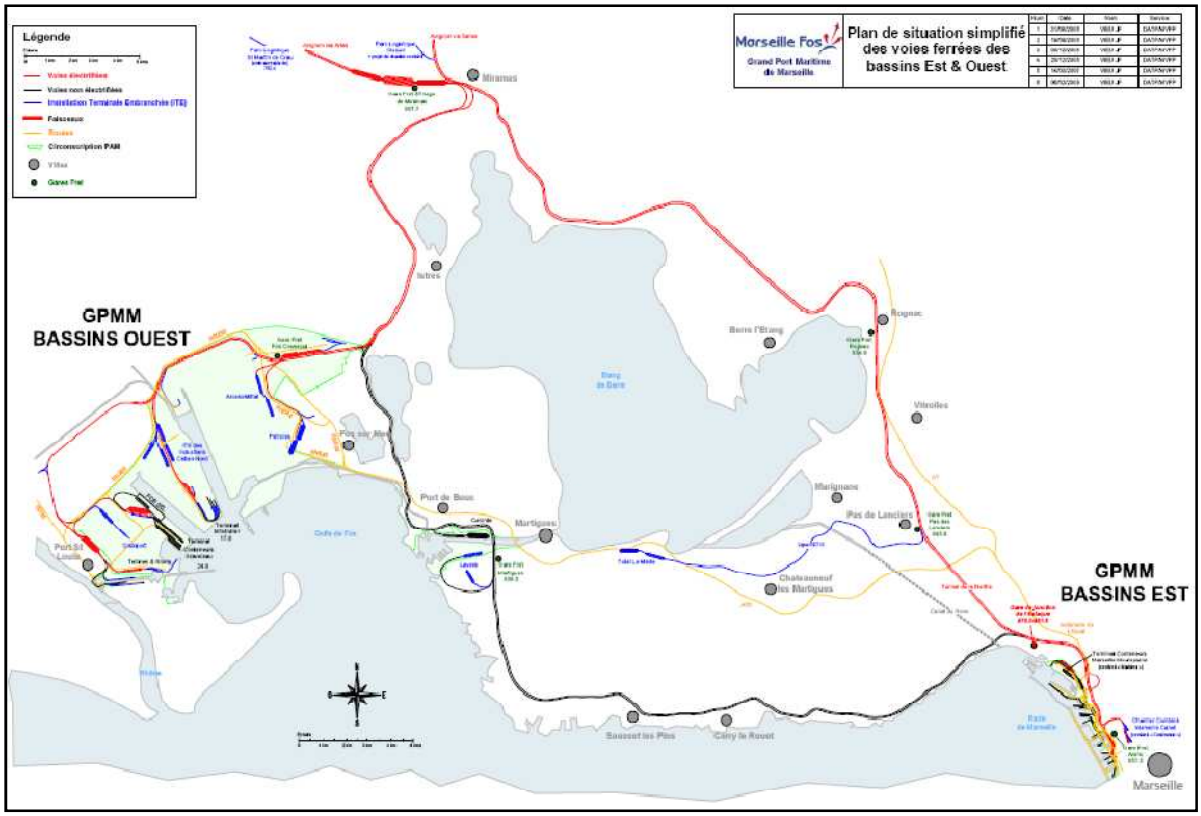


Figure 36 Schéma simplifié des voies ferroviaires qui desservent le port de Marseille-Fos (source Port de Marseille)

Concernant l'organisation des terminaux à conteneurs dans les ports maritimes, la figure 37 montre les relations entre acteurs dans le cas des nouveaux investissements portuaires. Le rôle de l'autorité portuaire peut changer d'un pays à l'autre au sein même de l'Union Européenne, car la réforme portuaire proposée par la Commission Européenne en 2004 a toujours été repoussée[187].

Les modèles d'autorité portuaire peuvent être classés dans différentes catégories (Tranchida, 2007):

- *Landlord Port* : l'autorité portuaire est responsable de la planification des infrastructures mais la gestion du port est confiée à des sociétés privées ;
- *Tool Port* : l'autorité portuaire fournit aussi des services opérationnels ;
- *Operative/Service Port* : la gestion du port est totalement publique ;
- *Company Port* : la gestion du port est totalement privatisée (modèle anglais).

[187] Après le livre vert de 1997, une proposition de directive a été repoussée par le Parlement deux fois, entraînant un blocus presque définitif de la part de la Commission. Aujourd'hui (2010) la seule norme applicable au secteur portuaire relève du traité de Lisbonne (jurisprudence directe), notamment en ce qui concerne les règles de la concurrence pour les services et les aides d'Etat (source Tranchida, 2007).

En général, en Europe, les ports des pays anglo-saxons sont gérés de façon privée alors que les pays méditerranéens, y compris la France, appliquent plutôt une gestion publique de type *Landlord Port*. La Cour des Comptes en 2006 dans son rapport sur les ports français avait d'ailleurs signalé que le modèle anglo-saxon permettait une gestion plus performante par rapport au modèle français, notamment en ce qui concerne l'exploitation optimale des infrastructures.

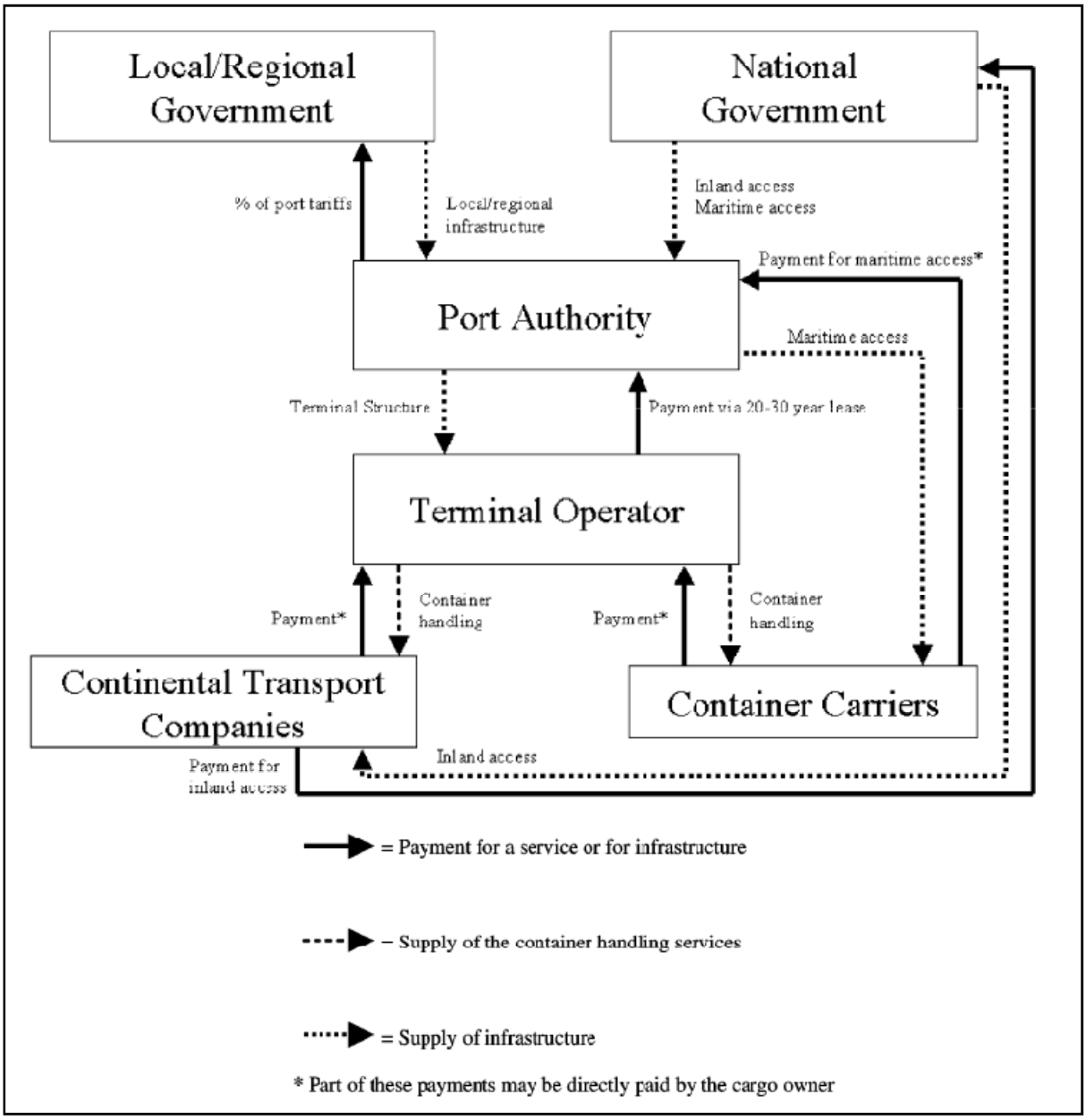


Figure 37 Les relations entre acteurs dans les investissements portuaires (source Wiegmans et alii, 2002)

En ce qui concerne les sociétés de gestion des terminaux portuaires, le rapport annuel 2006-2007 de l'ESPO (*European Seaport Organisation*) réalisé par l'Université d'Anvers

(ITMMA), montre (figure 38) la concentration des principaux terminaux portuaires européens qui sont gérés principalement par seulement cinq sociétés :

1. *Eurogate*, détenue par *Eurokai* (Hambourg) et *BLG Logisitc Group* (Brême), qui contrôle à son tour *Contship Italia* ;
2. *Hutchison Port Holding*, qui fait partie de la multinationale chinoise (Hong Kong) *Hutchison Wampoa*, premier opérateur portuaire au monde ;
3. *Port of Singapore Authority (PSA)* deuxième opérateur portuaire au monde;
4. *Dubai Port (DP World)* troisième opérateur portuaire au monde ;
5. *APM Terminals*, société du groupe *A.P.Moller-Maersk Group*, qui intègre le premier armateur mondial dans le trafic de conteneurs.

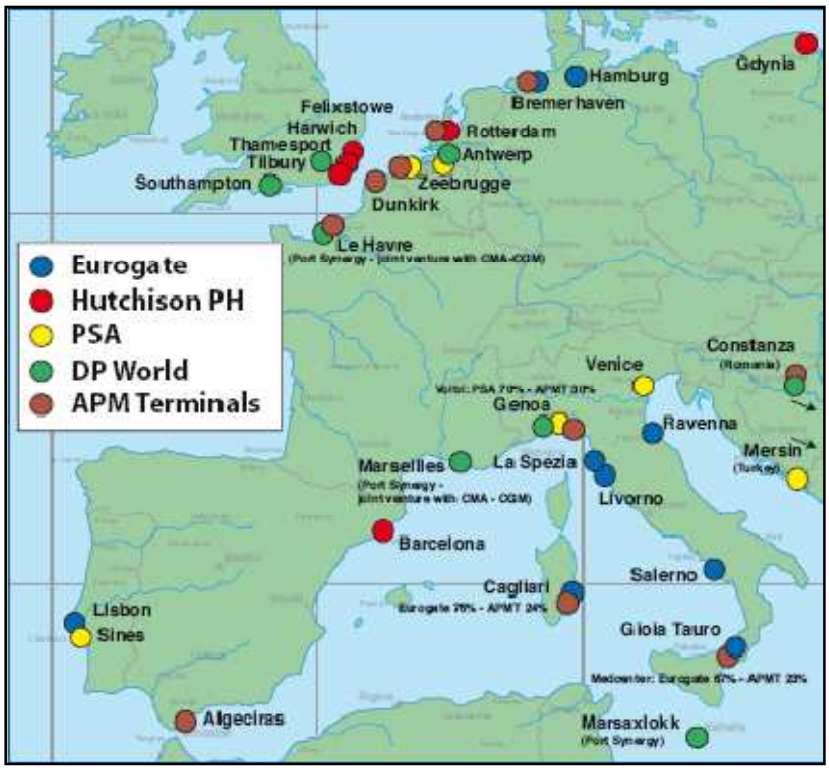


Figure 38 Principales sociétés de gestion des terminaux portuaires en Europe (source ESPO – ITMMA)

Il est important de noter que la taille mondiale de ces sociétés permet notamment de rentabiliser des financements privés sur le long terme, typiques des infrastructures portuaires, en particulier à travers des instruments financiers comme les *equity funds*[188].

[188] Le terme anglais *private equity* désigne les titres financiers de sociétés (notamment les actions pour les sociétés de capitaux, ou les parts sociales pour les sociétés de personnes) qui ne sont pas cotées sur un marché, par opposition à *public equity*, qui désigne des titres qui ont fait l'objet de procédures de cotation publique sur un

7.3 Les financements de l'Union Européenne

Le financement public des terminaux intermodaux repose aussi sur les financements de l'Union Européenne. Parmi ces instruments, les fonds européens relèvent principalement de deux types d'instruments :

1. Les prêts de la BEI : Banque Européenne d'Investissement ;
2. Les fonds européen de développement régional.

Il est en conséquence important de comprendre le fonctionnement de ces instruments et les règles qui sont à la base du montage financier dans le cas des investissements dans les infrastructures de transport.

7.3.1 Les prêts de la Banque Européenne d'Investissement dans le secteur des infrastructures de transport

La Banque Européenne des Investissements (BEI) est l'organisme de prêt à long terme de l'Union européenne[189]. Parmi les instruments financiers qu'elle propose dans le secteur des transports, il y a :

- *Le Mécanisme de financement structuré (MFS) pour les RTE, qui permet d'accorder des prêts pour des projets assortis d'une qualité de crédit inférieure à celle d'une valeur d'investissement. L'augmentation de la réserve du MFS laisse 1 milliard d'EUR disponible pour des affectations futures dans la limite du plafond de 3,75 milliards d'EUR fixé pour ce type d'opérations ;*
- *L'instrument de garantie de prêt pour les projets relevant du réseau transeuropéen de transport (LGTT), qui a pour but d'encourager le secteur privé à participer plus largement au financement des infrastructures du réseau transeuropéen de transport. Le LGTT est doté d'une enveloppe de 1 milliard d'EUR (la Commission et la BEI apportant chacune 500 millions d'EUR) qui devrait permettre de garantir des prêts de premier rang d'un volume total pouvant atteindre 20 milliards d'EUR.*[190]

La BEI devrait financer d'ici 2013 de nombreux projets pour une enveloppe totale de 75 milliards d'euros, dont la moitié environ consacrée aux projets prioritaires (figure 39).

---

marché (source Wikipedia). La traduction française du terme est capital-investissement. On parle souvent aussi d'instruments financiers de *capital risk*, qui représente une sous-catégorie du capital-investissement.

[189] Source site internet des institutions européennes : http://europa.eu/institutions/financial/eib/index_fr.htm

[190] Source BEI (2009) : « Le financement par la BEI des réseaux transeuropéens » Brochure sectorielle.



Figure 39 Opérations de la BEI en faveur des réseaux et corridors transeuropéens 1993-2008 (source : BEI, 2009)

La BEI joue aussi un important rôle de catalyseur en favorisant la participation du secteur privé au financement des RTE, notamment à travers les partenariats public-privé (PPP). La structure typique d'un PPP dans le secteur du transport routier avec l'intervention de la BEI est représentée dans la figure 40.

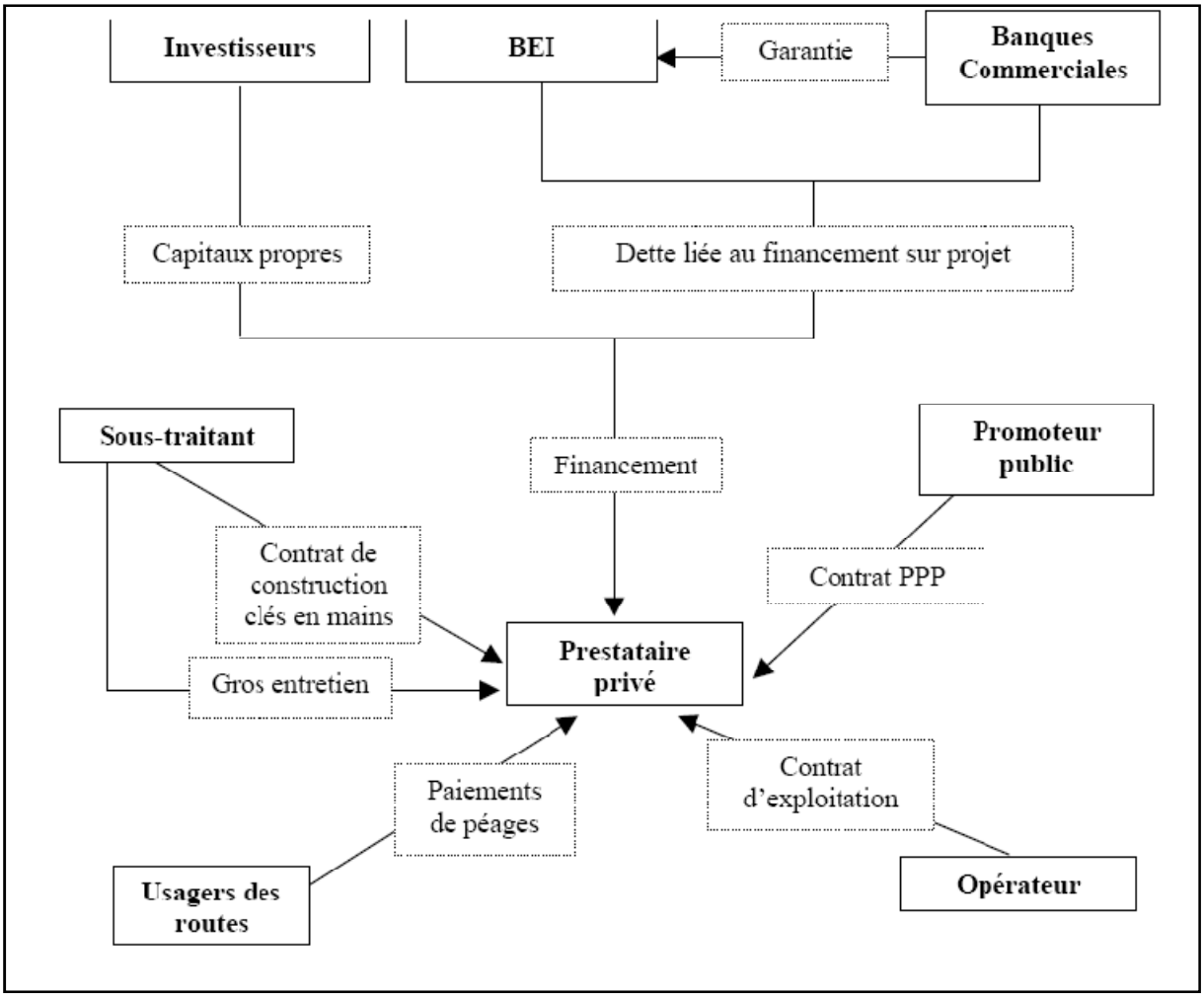


Figure 40 Structure typique d'un PPP dans le secteur routier avec intervention de la BEI (source : BEI, 2005)

Plusieurs experts s'accordent[191] sur le fait que la valeur ajoutée de la BEI dans les opérations des PPP réside dans le faible coût des ressources financières qu'elle propose, dû à la notation élevée de l'institution[192] (AAA[193]). Les figures 41 et 42 montrent l'évolution des PPP octroyés par la BEI sur la période 1990-2004, où l'on constate l'importance du secteur des infrastructures de transport dans ce type d'opérations.

[191] Lyonnet du Moutier M. (2006) « Financement sur projet et partenariats public-privé ».

[192] La notation financière ou notation de la dette ou *rating* (dans le monde anglo-saxon) est l'appréciation, par une agence de notation financière, du risque de solvabilité financière (source Wikipedia). Les accords de Bâle II ont modifié les critères d'appréciation de la solvabilité financière que les banques doivent appliquer à leurs créanciers. Pour plus de renseignements sur le sujet voir Lyonnet de Moutier (2006).

[193] La triple A est la notation la plus élevée chez Moody's (Aaa), Standard&Poor's et Fitch Ratings, les trois principales agences de notation au monde.

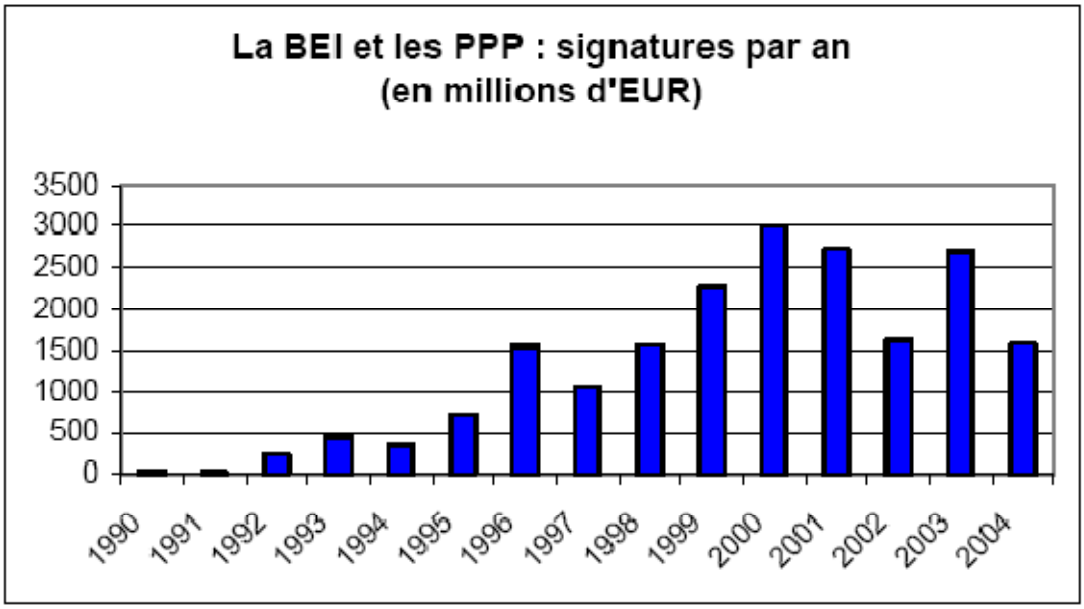


Figure 41 Montant des PPP octroyés par la BEI sur la période 1990-2004 (source : BEI, 2005)

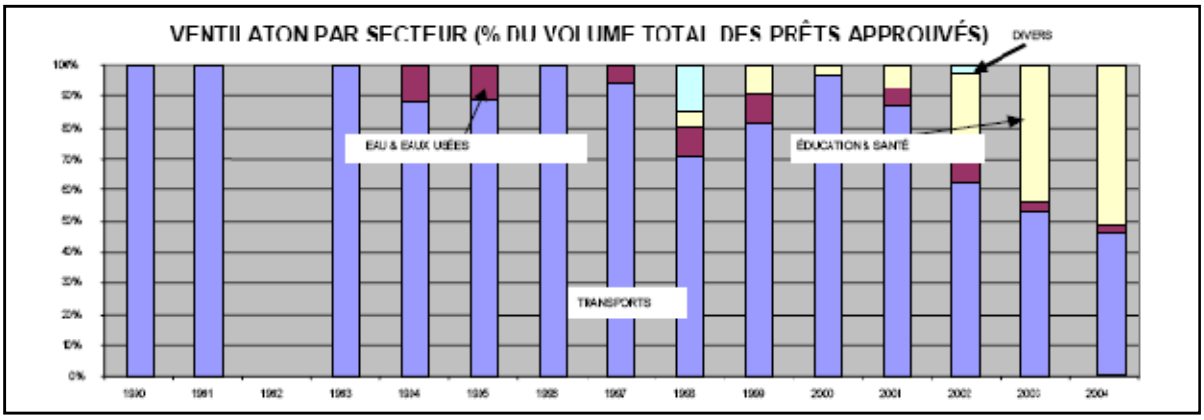


Figure 42 Ventilation des PPP par secteur d'activité sur la période 1990-2004 (source : BEI, 2005)

La BEI participe aussi à des activités financières de type *private equity – capital risk*, notamment à travers le fonds *Galaxy* (figure 43). La BEI représente le *club investor* du fonds[194], alors que les *core investors* sont :

- La Caisse des dépôts et consignations (France) ;
- KfW IPEX Bank (Allemagne);
- La Cassa Depositi e Prestiti (Italie).

Parmi les projets financés grâce à ce fonds, il y a l'autoroute A28 (France), le tramway de Nottingham (UK), les aéroports de Sienne (Italie) et d'Exeter (UK) et 7 ports de commerce en Australie[195].

[194] La BEI participe au fonds en représentation de la Commission Européenne dans le but de financer le réseau transeuropéen de transport. La participation de la BEI au fonds est de 25M€ (source : *Galaxy fund*).

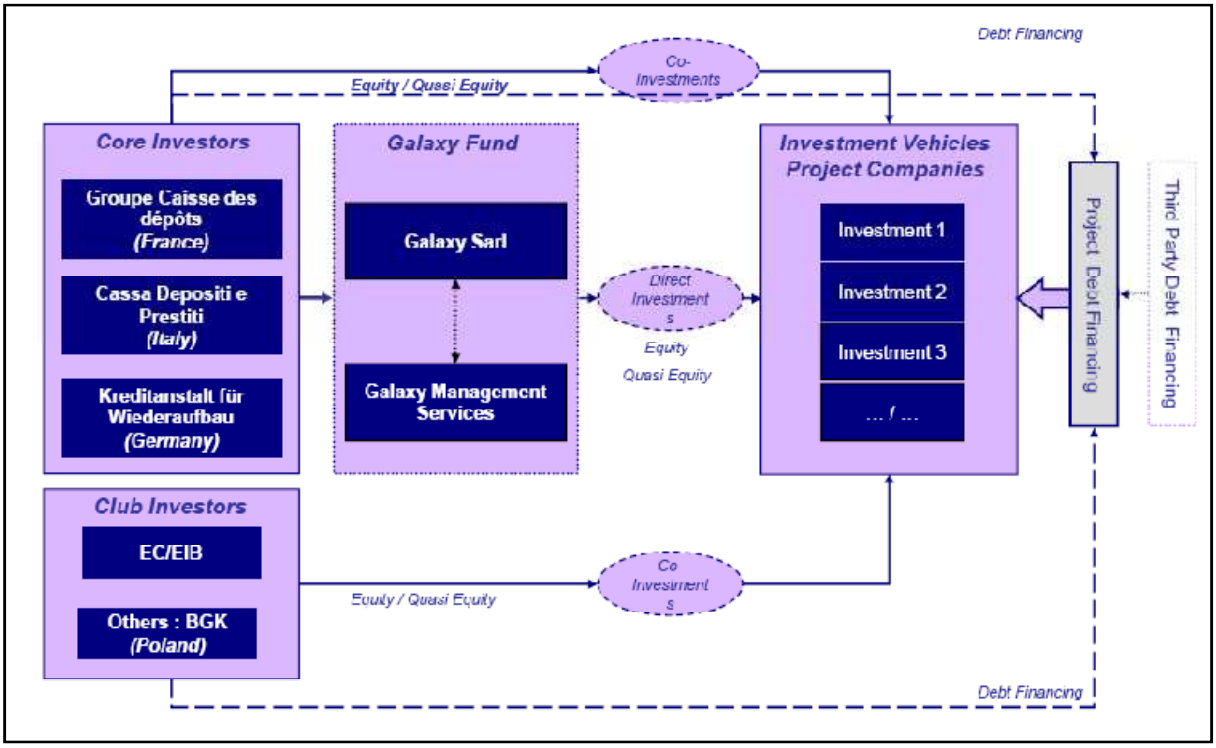


Figure 43 La structure du fonds Galaxy (source : Galaxy fund)

Il est important de noter que la Commission Européenne reste très prudente sur l'utilisation de ces instruments financiers : l'article 4 du règlement financier du programme TEN[196] prévoit un apport maximal de 1% du montant total de l'enveloppe[197]. Par exemple sur la période 2000-2006, la contribution communautaire au programme TEN-T était évaluée à environ 4.43 milliard d'euros, ce qui signifie une contribution maximale de l'instrument capital risque d'environ 44M€.

Concernant le financement des terminaux intermodaux, une initiative de ce type a été promue par un fonds d'investissement italien spécialisé dans les infrastructures de transport et d'énergie (f2i) : il s'agit de la plateforme logistique de Rivalta Scrivia, près d'Alessandria, dont le fonds détient 22.7%. Le projet prévoit la réalisation d'un nouveau terminal ferroviaire sur une superficie de 800.000 m^2, afin de développer le transport combiné en particulier avec le port de Gênes. Le montant total de l'opération est estimé à environ 60M€.

[195] La portée géographique du fonds concerne l'Europe et les pays membres de l'OCDE.
[196] Règlement CE N° 2236/95 du Conseil du 18 septembre 1995 déterminant les règles générales pour l'octroi d'un concours financier communautaire dans le domaine des réseaux transeuropéens, ensuite modifiés par les règlements 1655/99, 788/2004, 807/2004, 1159/2005 et 680/2007.
[197] Une proposition de relever cet apport à 2% à partir de 2003 n'a pas été retenue dans le règlement suivant.

7.3.2 Les fonds européen de développement régional

Les terminaux intermodaux ont été souvent financés par l'Union Européenne à travers le fonds européen de développement régional (FEDER)[198]. Ces instruments sont gérés directement par les Etats membres et les collectivités territoriales après affectation d'une enveloppe globale par la Commission Européenne. Il existe plusieurs zones d'éligibilité pour ce type de fonds (figure 44).

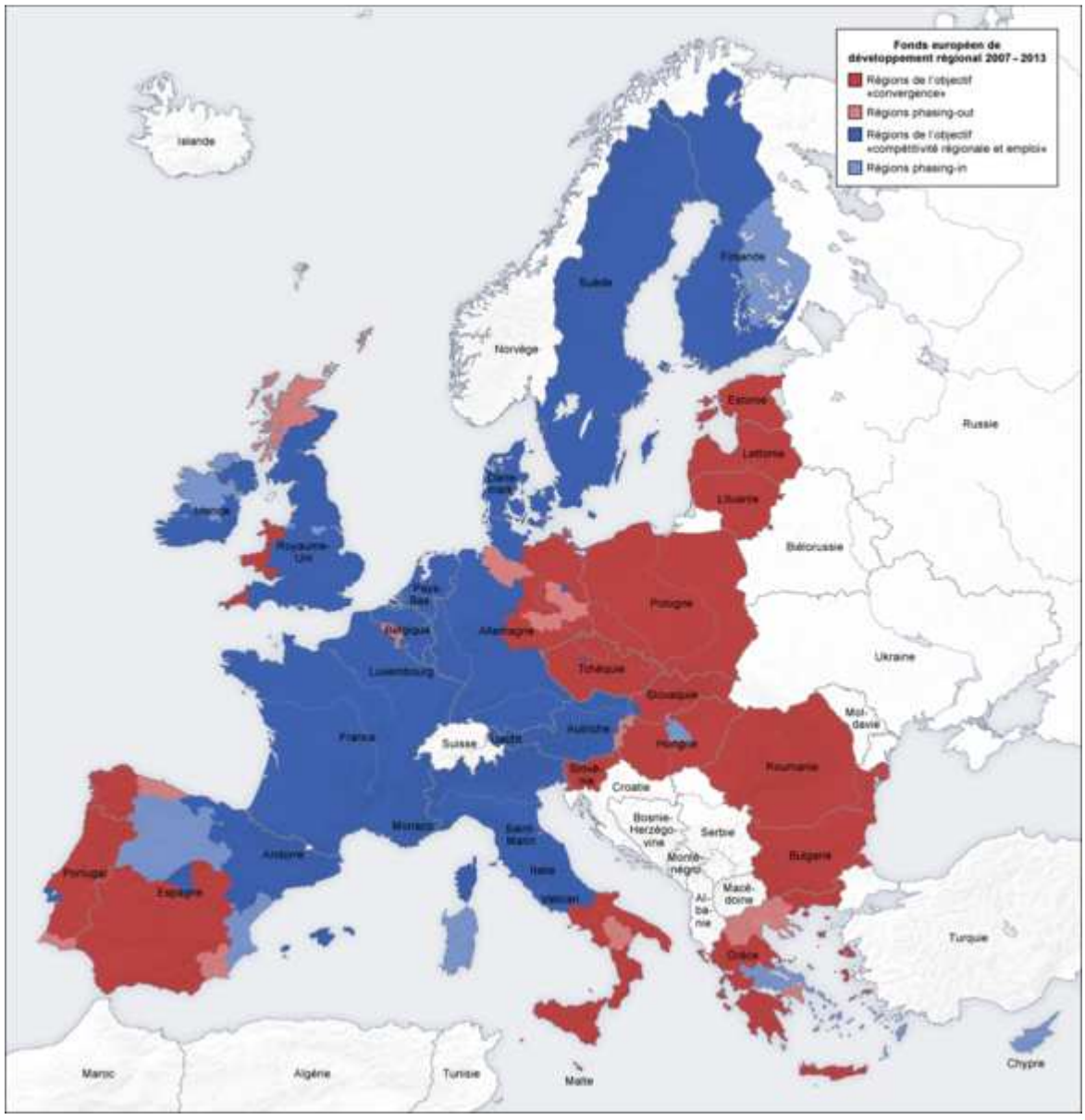


Figure 44 Les zones d'éligibilité des fonds FEDER (source : Wikipedia)

[198] Une évaluation précise du financement des terminaux intermodaux par les fonds FEDER n'existe pas à notre connaissance. Il ne faut pas confondre non plus ces financements avec ceux du programme Marco Polo qui concerne le développement des services intermodaux et pas le financement des infrastructures.

L'exemple du financement du terminal de transport combiné de Perpignan St.Charles aide à comprendre le fonctionnement de ces fonds. Tout d'abord, la gestion opérationnelle est déléguée à la Préfecture de Région qui établit les documents nécessaires :

- Le " Document unique de programmation " (DOCUP) définit la stratégie et les axes prioritaires retenus dans le cadre de l'Objectif 2[199] en Languedoc-Roussillon, ainsi que le plan de financement ;
- Le " Complément de programmation " (C.P.) est le document d'application du DOCUP, il contient les éléments détaillés du programme (ensemble de " fiches actions ").

Dans le cadre de la décentralisation, le Préfet de région, autorité de gestion, délègue une partie des programmes européens à la région. La Région est en conséquence chargée des programmes en faveur de :

- *l'aide aux entreprises innovantes ;*
- *le développement des énergies renouvelables ;*
- *les ports ;*
- *l'intermodalité ;*
- *la formation ;*
- *l'agro-alimentaire et le développement rural.*

Il faut souligner aussi que les programmes européens 2007-2013 sont par ailleurs coordonnés avec le Contrat de Plan Etat-Région (CPER). Sur la période, un Comité régional de programmation (CRP) examine les projets relevant des programmes européens et ceux relevant du CPER. Le programme opérationnel 2007-2013 prévoit par exemple parmi les objectifs le renforcement des outils multimodaux sur les ports, comprenant :

- *le chantier de transport combiné de Sète pour le trafic mer-fer ;*
- *le transport fluvial avec notamment le transport des conteneurs et du vrac solide, en lien avec la rénovation du canal du Rhône à Sète. L'objectif est d'assurer le passage de lignes régulières de conteneurs à destination du port de Lyon et au-delà ;*
- *la connexion avec les bases logistiques arrières et le réseau des zones d'activité régionales.*

Le programme opérationnel est établi en conformité avec le « Cadre de référence stratégique national » relatif aux programmes de la politique européenne de cohésion économique et sociale 2007-2013, rédigé par le Ministère de l'Intérieur, le Ministère du Travail et la DIACT[200], qui prévoit parmi ses objectifs de contribuer au *développement du*

[199] Reconversion économique et sociale des régions en difficulté.
[200] Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires.

transport multimodal, fret ferroviaire et fluvial ainsi que du cabotage maritime, notamment sur les axes où le trafic peut être massifié et au débouché des ports maritimes.

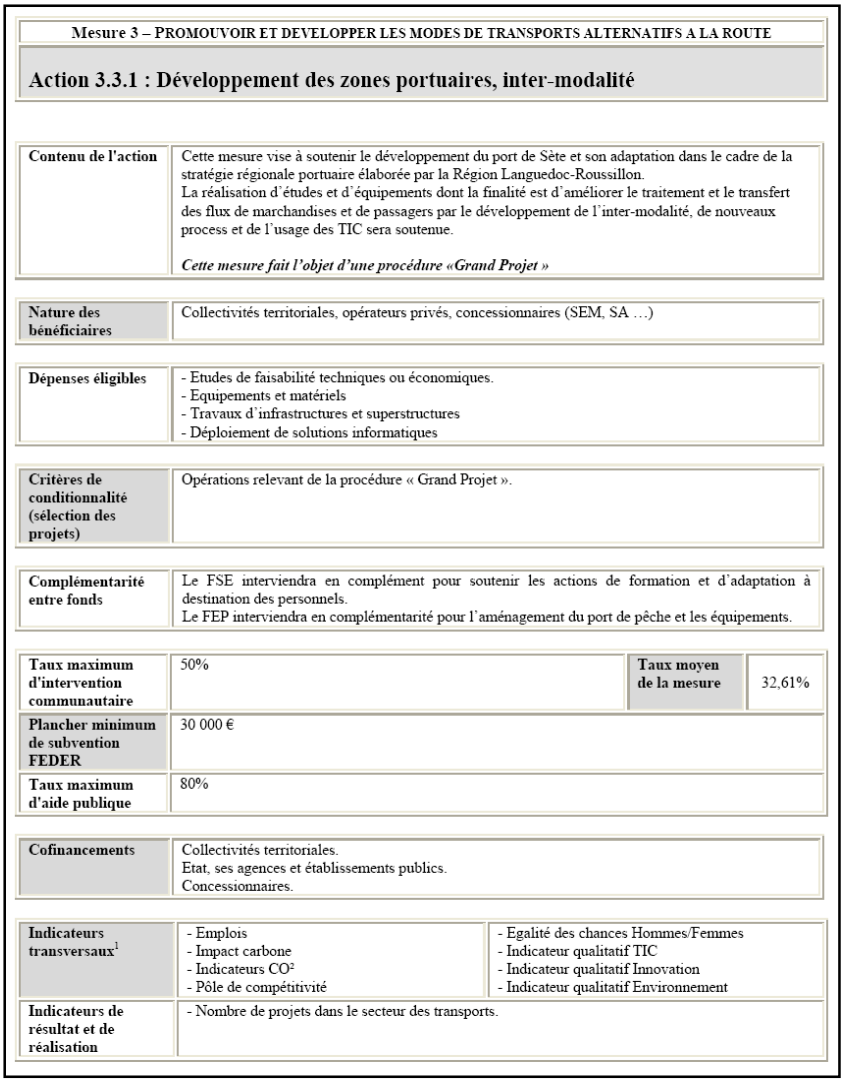
Il pourra s'agir de :

• soutenir la remise à niveau et la modernisation des infrastructures, ferroviaires et fluviales dans le cadre d'actions à caractère intermodal ;

• adapter les équipements portuaires, les chantiers rail-route, les plateformes logistiques multimodales.

Le document de mise en œuvre (DoMo) rédigé par le CRP établit les mesures précises à financer ainsi que la procédure (figure 45). Le programme FEDER prévoit aussi une évaluation ex-ante, une évaluation à mi-parcours, ainsi qu'une évaluation ex-post. En général il s'agit d'une évaluation de programme plutôt que d'une évaluation des projets. Le cas du financement des terminaux intermodaux, sûrement minoritaire dans l'enveloppe globale des fonds FEDER[201], montre pourtant la complexité de la gestion de ces fonds et leur conséquente dispersion sur plusieurs projets sans vraie coordination au niveau européen et national.

[201] Le financement FEDER du terminal de Perpignan St. Charles a représenté un montant d'environ 4.3M€ sur une enveloppe totale d'environ 300M€.



Mesure 3 – PROMOUVOIR ET DEVELOPPER LES MODES DE TRANSPORTS ALTERNATIFS A LA ROUTE			
Action 3.3.1 : Développement des zones portuaires, inter-modalité			
Contenu de l'action	Cette mesure vise à soutenir le développement du port de Sète et son adaptation dans le cadre de la stratégie régionale portuaire élaborée par la Région Languedoc-Roussillon. La réalisation d'études et d'équipements dont la finalité est d'améliorer le traitement et le transfert des flux de marchandises et de passagers par le développement de l'inter-modalité, de nouveaux process et de l'usage des TIC sera soutenue. ***Cette mesure fait l'objet d'une procédure «Grand Projet »***		
Nature des bénéficiaires	Collectivités territoriales, opérateurs privés, concessionnaires (SEM, SA …)		
Dépenses éligibles	- Etudes de faisabilité techniques ou économiques. - Equipements et matériels - Travaux d'infrastructures et superstructures - Déploiement de solutions informatiques		
Critères de conditionnalité (sélection des projets)	Opérations relevant de la procédure « Grand Projet ».		
Complémentarité entre fonds	Le FSE interviendra en complément pour soutenir les actions de formation et d'adaptation à destination des personnels. Le FEP interviendra en complémentarité pour l'aménagement du port de pêche et les équipements.		
Taux maximum d'intervention communautaire	50%	**Taux moyen de la mesure**	32,61%
Plancher minimum de subvention FEDER	30 000 €		
Taux maximum d'aide publique	80%		
Cofinancements	Collectivités territoriales. Etat, ses agences et établissements publics. Concessionnaires.		
Indicateurs transversaux[1]	- Emplois - Impact carbone - Indicateurs CO^2 - Pôle de compétitivité	- Egalité des chances Hommes/Femmes - Indicateur qualitatif TIC - Indicateur qualitatif Innovation - Indicateur qualitatif Environnement	
Indicateurs de résultat et de réalisation	- Nombre de projets dans le secteur des transports.		

Figure 45 Exemple de financement FEDER relatif au développement des infrastructures intermodales en Languedoc-Roussillon (source DoMo FEDER Languedoc-Roussillon 2007-2013)

7.4 Le recours à la finance de projet à travers les partenariats public-privé

L'évaluation économique et financière d'un investissement dans un terminal de transport combiné a déjà été proposée au chapitre VI de même que l'analyse du montage financier de l'opération, qui concernait principalement des fonds publics. L'introduction du capital privé dans des financements relatifs aux terminaux intermodaux a été évoquée dans ce chapitre à travers l'exemple des ports maritimes et du capital risque (*private equity*) dans certains projets d'infrastructures de transport.

Une méthode générale d'évaluation des partenariats public-privé (PPP) appliqué au cas des terminaux intermodaux est proposée par Tsamboulas et Kapros (2003) (figure 46) avec une application au cas d'une nouvelle plateforme intermodale dans le nord de la Grèce. Il s'agit

d'une méthodologie générale applicable à différents types d'investissement dans les infrastructures.

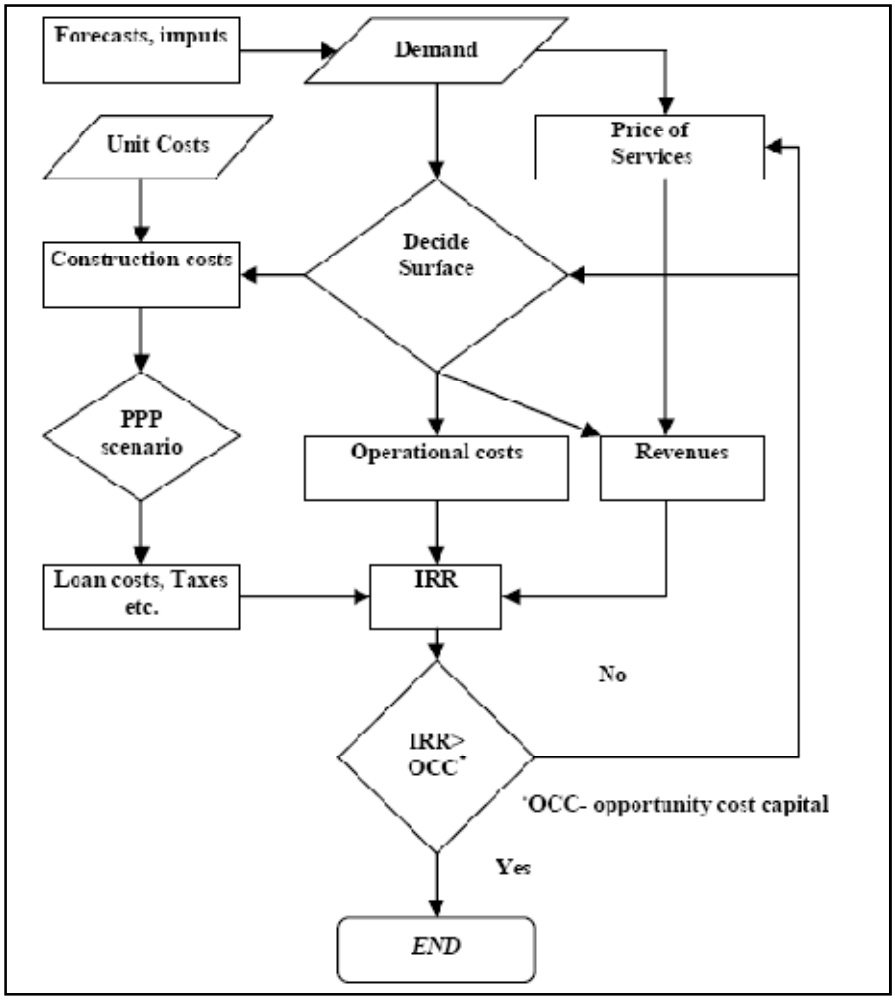


Figure 46 Méthode d'évaluation financière pour un nouvel investissement dans une plateforme intermodale (source : Tsamboulas et Kapros, 2003)

Le modèle consiste à calculer le taux de rentabilité de l'investissement (IRR) pour plusieurs scenarii (PPP scenario) établis en fonction des différents montages financiers possibles de l'opération. Pour établir le montage financier optimal les auteurs proposent d'appliquer un modèle d'optimisation mathématique de ce type :

$Max\ IRR(p1, p2)$

$p2 \geq a \times p1$

$p1 \leq b$

$(1 - p1 - p2) \leq c$

$p1, p2 \geq 0$

$CFt \geq 0\ for\ \Delta t$

Où :

- *IRR* représente le taux de rentabilité interne, fonction de *p1* et *p2* ;
- *p1* est le montant en pourcentage de l'investissement public ;
- *p2* est le montant en pourcentage de l'investissement privé ;
- *a,b,c* sont des paramètres qui seront définis ci-dessous ;

CFt est le cash flow du projet sur la période Δt *d'amortissement de l'investissement.*

L'idée du modèle est de calculer le montant optimal de l'investissement public (*p1*) et privé (*p2*) sachant qu'une partie de l'investissement serait financée par des prêts bancaires.

Etant donné le montant total de l'investissement (*Cm*), on obtient en conséquence :

$$Cm = p1 \times Cm + p2 \times Cm + (1 - p1 - p2) \times Cm$$

Les trois paramètres du modèle constituent les éléments de cette équation. Cela permet notamment d'effectuer une analyse de risque du montant de l'investissement basée sur la méthode de MonteCarlo (Savvides, 1994).

7.5 Conclusion

Le développement du transport combiné repose aussi sur les investissements dans les terminaux intermodaux. L'exemple du financement des terminaux à conteneurs maritimes a montré les pratiques de concentration et de rationalisation des investissements nécessaires afin de développer d'importantes économies d'échelle. Ces pratiques devraient être transférées aussi aux chantiers de transbordement rail-route qui présentent souvent une taille sous-optimale en termes de trafic et en conséquence de rentabilité financière. Plusieurs instruments financiers existent tant sur le marché qu'en termes de subventions pour supporter les nouveaux investissements. Parmi ces instruments les prêts de la BEI et le fonds européen de développement régional ont déjà contribué dans le passé au financement des infrastructures de transport, y compris les terminaux intermodaux. La gestion de ces fonds est souvent complexe et, en absence d'une coordination renforcée à tous les niveaux (européen, national et régional), il y a un risque de dispersion des fonds sur plusieurs projets au lieu d'une concentration et d'une rationalisation en faveur des investissements prioritaires.

La définition d'investissement prioritaire est sans doute incertaine. Dans le cas des terminaux intermodaux, certains critères sont pourtant identifiables :

- demande de trafic ;
- contrainte de capacité ;
- rentabilité socio-économique ;

- rentabilité financière.

L’intervention du secteur privé dans le financement des opérations est sans doute envisageable dans une situation de contrainte des finances publiques et de développement des activités commerciales. Une modèle d’évaluation du montage financier optimal dans le cas des PPP a ainsi été proposée. Ce modèle intègre une analyse du risque basée sur la méthode Monte Carlo : ce type de simulation est aujourd’hui de plus en plus requis tant pour les investissements privés que publics, afin de tenir compte des incertitudes liés aux prévisions de trafic et du coût de l’investissement. Il est en conséquence important de généraliser ces pratiques aussi au cas des investissements dans les chantiers de transport combiné rail-route, qui présentent souvent un fort risque lié aux prévision de trafic et en conséquence des recettes commerciales. Cela augmenterait la confiance du secteur privé envers ce type d’investissements et pourrait réduire l’apport des fonds publics, qui représentaient jusqu’à maintenant presque la totalité du montant global de l’investissement dans les chantiers de transport combiné rail-route.

Conclusion générale

La rationalisation du transport de marchandises à travers les terminaux intermodaux s'impose pour des raisons à la fois environnementales et économiques. Cette thèse a été développée tout au long des chapitres en insistant sur les aspects opérationnels nécessaires à sa réalisation. En guise de conclusion générale il semble important de réfléchir au positionnement de Réseau Ferré de France (RFF) vis-à-vis de ce sujet. RFF est un établissement public à caractère industriel et commercial, ce qui signifie que son rôle est de mettre en oeuvre la politique des transports définie par le Ministère dans son domaine, sous une contrainte de rentabilité économique et financière (article 4 du statut de RFF). Cette obligation est aussi présente dans le cas des terminaux intermodaux : les investissements devraient se concentrer sur les chantiers les plus performants afin de développer les trafics en accord avec la politique des transports définie par le Ministère à travers le Grenelle de l'Environnement[202]. Les implications pour RFF vont pourtant au-delà de ce simple engagement : en premier lieu une augmentation de l'activité de transport combiné se traduirait automatiquement par une augmentation des sillons et en conséquence des recettes commerciales de RFF au-delà des redevances d'accès aux chantiers et de la COT[203] chantiers. En deuxième lieu, la gestion des chantiers de transbordement rail-route apparaît comme stratégique vis-à-vis de l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de marchandises. Alors que des nombreuses difficultés persistent dans l'accès aux gares voyageurs et aux triages, les chantiers de transbordement rail-route ont été dès le début confiés à RFF, qui à son tour a délégué leur gestion aux opérateurs historiques déjà installés sur place. Cette situation est évidement intenable dans le cadre de l'ouverture à la concurrence comme démontré par l'exemple des pays voisins, l'Allemagne et l'Italie. En même temps, les opérateurs de transport combiné n'ont pas les capacités financières nécessaires pour investir dans les chantiers, à moins de recourir à des fonds publics ou aux opérateurs ferroviaires dont ils dépendent. Cette situation n'est pas de tout viable et il est fort probable que les institutions européennes ainsi que le régulateur économique du secteur ferroviaire (ARAF) interviennent en ce sens. Face à cette possibilité, RFF pourrait en conséquence mettre en place les stratégies proposées dans cette thèse afin de développer les trafics de transport combiné dans un cadre réglementaire d'ouverture à la concurrence.

[202] Doublement du transport combiné d'ici 2012 (chapitre IV)
[203] COT: convention d'occupation temporaire (chapitre VI).

Bibliographie

Chapitre I

BEN-AKIVA M., MEERSMAN H., VAN DE VOORDE E. (2008) Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the Freight Sector. Bingley, Emerald.

BIANCO L., LA BELLA A. (1987) La Pianificazione dei Sistemi di Trasporto – Obiettivi, modelli, strumenti. Milano, Franco Angeli.

BLARDONE J.D. (2007) Modélisation des flux longue distance, le modèle MODEV rénové. Notes de synthèse du SESP N°164.

BONNAFOUS A. (1989) Le siècle des ténèbres de l'économie. Paris : ECONOMICA, 184 p. En ligne sur : http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00291521/fr/ (Lien consulté le 02.07.2008). ISBN : 2-7178-1797-2.

CALIO J.,METEYER J.C. (2001) Le modèle multimodal de transport intérieur à long distance du SES : MODEV. Notes de synthèses du SES 4/2001.

CASCETTA E., IANNO' D. (2000) Calibrazione aggregata di un sistema di modelli di domanda merci a scala nazionale. In CANTARELLA G.E., RUSSO F. Metodi e tecnologie dell'ingegneria dei trasporti. Milano, Franco Angeli.

COSTA P. (1987) Una tavola Input-Output per l'analisi del sistema dei trasporti italiani. In BIANCO L., LA BELLA A. (1987) La Pianificazione dei Sistemi di Trasporto – Obiettivi, modelli, strumenti. Milano, Franco Angeli.

DALL'AGATA G., RIGON A. (1999) Un modello integrato economia-trasporti. Atti del Convegno Nazionale Finale CNR-PFT2, Roma.

DURAND S. (2001) L'analyse et la modélisation spatiales des transports de marchandises par la méthode des coefficients structurels. Les Cahiers Scientifiques du Transport. N° 39, pp.87-114.

FILIPPI F. (2007) Polycopie du cours Trasporto delle merci e logistica. Università degli studi di Roma "La Sapienza", Facoltà di Ingegneria.

FUSCO G., GORI S. (1992) Modelli di trasporto merci: un quadro di riferimento. Atti di Trasporti n°8 Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade, Università degli studi di Roma "La Sapienza".

GUILBAULT M. (2008) Enquête ECHO "Envois-Chargeurs-Opérations de transport" Résultats de référence. Les collections de l'INRETS, Synthèse n°56.

HARKER P.T. (1984) Spatial Price Equilibrium: Advances in Theory, Computation and Application. Springer, Verlag.

HARKER P.T. (1987) Predicting Intercity Freight Flows. Utrecht, VNU Science Press.

JOURQUIN B.A.M. (1996) Un outil d'analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits. Le réseau virtuel, concept, méthodes et applications. Thèse de doctorat. Facultés Universitaires Catholiques de Mons.

ISARD W. (1998) Methods of Interregional and Regional Analysis. Ashgate.

KLEIN L.R. (2006) Un contributo all'interpretazione del sistema di Leontief. Macroeconomia, econometria e politica economica. Bologna, Il Mulino.

LeSAGE J.P., POLASEK W. (2008) Incorporating Transportation Network Structure in Spatial Econometric Models of Commodity Flows. Spatial Economic Analysis, Vol. 3, N°2.

LOVERIDGE S. (2004) A Typology and Assessment of Multi-sector Regional Economic Impact Models. Regional Studies, Vol. 38.3, pp.305-317.

NIJKAMP P.(1986) Handbook of Regional and Urban Economics – Volume I: Regional Economics. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V.

MILLER R.E., BLAIR P.D. (1985) Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. Englewood Cliffs, New Jersey 07632, Prentice-Hall, Inc.

OSTERHAVEN J., STEDLER D. (2007) Regional and Interregional IO Analysis. University of Groningen, Faculty of Economics and Business.

OSTERHAVEN J., KNAAP T., RUIJGROK C., TAVASSZY L. (2001) On the development of RAEM: the Dutch spatial general equilibrium model and its First application to a new railway link. 41th Congress of the European Regional Science Association.

QUINET E. (1998) Principes d'économie des transports. Paris, Economica, 419 p.

RIETVELD P. (1989) Infrastructure and regional development. A survey of muiltiregional economic models. The Annals of Regional Science n°23, pp.255-274. Springer-Verlag.

SAMUELSON P.A . (1952) Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. The American Economic Review, Vol.42,No.3,283-303.

SAUVANT A., VERNY J. (2002) Quantification de l'activité économique indirecte liée aux ports maritimes français. Notes de Synthèse du SES, 01/2002.

SHADE W., MARTINO A., RODA M. (1999) ASTRA-Assessment of Transport Strategies.17th International Conference of the System Dynamics Society.

TAVASSZY L.A., GROOTHEDDE B., RUIJGROK C. (2000) Aggregate models of spatial logistics. Third International Meeting for Research in Logistics.

WINSTON C. (1983) The demand for freight transportation: models and applications. Transportation Research A, Vol. 17, N°6, pp. 419-427.

ZHAO Y., KOCKELMAN K. (2004) The random-utility-based multiregional input–output model: solution existence and uniqueness. Transportation Research B,Vol. 38, Issue 9, pp. 789-807.

Chapitre II

ANTONIAZZI F. (2007) “Analyse d’un système intermodal: le cas de la région Rhône-Alpes et de la région Lombardie » Travail de fin d’étude ENTPE

BEN-AKIVA M., DE JONG G. (2008) “The aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) Freight Model System” in Ben-Akiva M., Meersman H., Van de Voorde E. “Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the Freight Sector” Bingley, Emerald.

BLUMENFELD D.E., BURNS L.D., DILTZ J.D., C.F. DAGANZO (1985) “Analyzing trade-offs between transportation, inventory and production costs on freight networks”, Transportation Research Vol.19B, N°5, pp.361-380.

COMBES F. (2009) “The choice of shipment size in freight transport” Thèese de doctorat Université Paris-Est

CRAINIC T.G., SEMET F. (2005) “Recherche opérationnelle et transport de marchandises” Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal et Université de Valenciennes.

DAUGHETY A.F., TURNQUIST M.A., GRIESBACH S.L. (1983) “Estimating origin-destination specific railroad marginal operating cost functions” Transportation Research Vol. 17A, N°6, pp. 451-462.

FAVRE-BULLE E. (2003) “Estimation de l’impact des modifications de la structure économique sur l’évolution des transports routiers et ferroviaires de marchandises” Notes de synthèse du SES.

GIRAULT M., LERAY F. (2000) “A la recherché des familles logistiques” Notes de synthèse du SES.

GHIANI, IMPROTA (2002) “Localizzazione di terminali di trasporto” in Scienze delle decisioni per i trasporti, ed. Franco Angeli, Milano.

GHODSYPOUR S.H., O’BRIEN C. (2001) “The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint”, Int. J. Production Economics 73 pp.15-27.

HALL R.W. (1991) “Route selection on freight networks with weight and volume constraints” Transportation Research Vol. 25B, N°4, pp. 175-189.

HECHE J.F., LIEBLING T.M., DE WERRA D. (2003) “Recherche opérationnelle pour ingénieurs II” Presses polytechniques et universitaires romandes.

NOZICK L.K., MORLOK E.K. “A model for medium-term operations planning in an intermodal rail-truck service” Transportation Research Vol.31A, N°2, pp. 91-107.

PESENTI R. “Dispense del corso di Ricerca Operativa” 2002.

RACUNICA I., WINTER L. (2000) “Optimal location of intermodal freight hubs” INRIA Rapport de recherché N°4088

RUSSO F. (2005) “Sistemi di Trasporto Merci: Approcci quantitative per il supporto alle decisioni di pianificazione strategica tattica ed operative a scala nazionale” Milano, Franco Angeli.

SASSANO A. (2004) “Modelli e algoritmi della ricerca operativa” Ed. Franco Angeli, Milano.

SAUVANT A., VERNY J. (2002) « Quantification de l’activité économique indirecte liée aux ports maritimes français » Notes de Synthèse du SES, 01/2002.

SETRA (2007) « Analyse de filières industrielles : la thématique transport et logistique » Note d’information.

TAVASSZY L.A., GROOTHEDDE B., RUIJGROK C. (2000) “Aggregate models of spatial logistics” Third International Meeting for Research in Logistics.

Chapitre III

EUROSTAT “Manual of Supply, Use and Input-Output Tables” Office for Official Publications of the European Communities, 2008. ISBN 978-92-79-04735-0 ISSN 1977-0375

JOIGNAUX G., VERNY J. (2004) : « Transport de marchandises et croissance : la problématique du couplage / découplage » Reflets et Perspectives, XLIII, 2004/4

SAMBLAT P. (2006) « Le transport de Marchandises à Travers les alpes, principales mutations au cours des dix dernières années » Notes de synthèse du SESP N° 163.

UN/ECE Economic Commission for Europe, Terminologie en Transports combines, United Nations. New York and Geneva, 2001

Chapitre IV

ADEME : « Transports combinés rail-route, fleuve-route et mer-route. Tableau de bord national 2006 » consultable en ligne www.ademe.fr

ANTONIAZZI F. « La gestion des chantiers de transbordement rail-route en France : une problématique de rationalisation et de gouvernance » Transports n°461, mai-juin 2010.

Autorité de la Concurrence : « Tlp – Novatrans : résumé de l'opération fourni par les parties » consultable en ligne www.autoritedelaconcurrence.fr

CE « La politique européenne des transports à l'horizon 2010: l'heure des choix » Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg 2001 ISBN 92-894-0342-X

CEMAT www.cemat.it

CONSEIL NATIONAL DE L'EVALUATION - COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN : « Evaluation des politiques publiques en faveur du transport combiné rail-route » Rapport réalisé par TN Sofres Consulting - Comité de pilotage présidé par Michel Matheu. Décembre 2003

CNT Conseil National des Transports « Rapport sur le transport combiné » (Rapport Robien) 2005 La documentation Française

CPER Contrat de Projets Etat-Région consultable en ligne www.diact.gouv.fr

DELTA 3 www.delta-3.com

DRE Acquitaine « Audit sur la fermeture des plates-formes rail-route, notamment de Limoges, Pau et Angoulême »

DUSS Deutsche Umschlaggesellschaft Schiene – Straße www.duss-terminal.de

GNTC « Groupement National des opérateurs de Transport Combiné » www.gntc.asso.fr

HUPAC www.hupac.fr

KOMBIVERKEHR www.kombiverkehr.de

La documentation Française : « Schéma national des plates-formes multimodales » (Rapport Daubresse) 1997.

MEDAD Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables « CNT Compte national des transports 2008 »

MEDAD Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables « SITRAM Système d'information sur les transports de marchandises » données 2006

Mission sur le transport combiné (chargé de mission : Pierre Perrod - rapporteur : Michel Savy) « Dix propositions pour un développement durable du transport combiné » juillet 1998

NAVILAND CARGO « Plan de transport 2008 » consultable en ligne www.naviland-cargo.com

NOVATRANS « Fascicule horaire 2007 » consultable en ligne www.novatrans.fr

PORT DU HAVRE www.havre-port.fr

PORT DE MARSEILLE www.port-marseille.fr

REYNAUD C. « Cinq questions sur les terminaux intermodaux de marchandises » Transport Environnement Circulation 1/1995

RACUNICA I., WYNTER L. (2000) « Optimal location of intermodal freight hubs » Rapport de recherche N°4088 INRIA

RFF Réseau Ferré de France « Contrat de performance entre l'Etat et RFF »

TERMINALI ITALIA "Bilancio di esercizio 2008" consultable en ligne www.terminaliitalia.it

UIRR Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route « Statistiques 2008 » consultable en ligne www.uirr.com

UN/ECE (2001) "Terminology on combined transport", New York and Geneva

Chapitre V

ANTONIAZZI F., NOCERA S. (2005) "Sulla potenzialità dei nodi intermodali: modelli di valutazione e limiti di affidabilità" in Atti del Convegno "Interporti, scali merci, centri logistici e sviluppo competitivo" Venezia, 17 Novembre 2005. Aracne, Roma.

BONARA G., FOCACCI C. (2002) "Progettazione e funzionalità degli impianti ferroviari". CIFI, Roma.

DALLA CHIARA B., MARIGO D., BENZO G. "Interporti e impianti intermodali". Hoepli, Torino.

KOMBICONSULT & KASSEL AND PARTNER (2004) "Study on Infrastructure Capacity Reserves for Combined Transport by 2015". Freiburg/Frankfurt am Main/Paris.

SARTOR P. "La capacità delle aree di sosta nei terminal container". Trasporti Europei n°7.

RFI Rete Ferroviaria Italiana "Stima della capacità degli impianti merci intermodali e di autostrada ferroviaria" Procedura Operativa Direzionale.

SETRA (2008) « Transport de marchandises: caractéristiques de l'offre et capacité des modes de transport » Guide méthodologique.

Chapitre VI

CAMPISI D., COSTA R. (2008) "Economia dei sistemi industriali. L'interazione strategica: applicazioni ed esercizi" Carrocci editore

COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN (2005) « Révision du taux d'actualisation des investissements publics » Rapport du groupe d'experts présidé par Daniel LEBÈGUE

DAEI-SESP-INSEE (2005) « Les comptes des transports en 2004, tome 2 »

HAMMICHE S., DENANT – BOÉMONT L., (1997) « Cohérence du calcul économique et financement public des grands projets d'infrastructure : Les cas de l'autoroute ferroviaire » Révue économique 48, pp. 271-294.

IVALDI M. (2007) "The European Market for Freight Services: Towards A Simulation Model of Competition" IDEI Report #12

PACT (2003) « Contribution du transport combiné à la réduction des émissions de CO2 » Rapport de synthèse UIRR

RFF, LBF (2008) « Programme de développement des infrastructures ferroviaires en région Languedoc-Roussillon : étude de capacité contributive, lot 2 (fret) ».

ROY W. (2005) « Evaluation des programmes d'infrastructure : ordre optimal de réalisation sous contrainte financière » Laboratoire d'économie des transport, Lyon.

SETRA (2005) « Contrats de plan Etat-Régions : Analyse des volets ferroviaires »

SOPRANO V. (2006) "Alcune applicazioni di Teoria dei giochi in ambito aziendale: il caso del trasporto merci e quello di una joint venture tra impianti industriali" RFI Argomenti n°8

TSAMBOULAS, D., KAPROS, S. (2003) Freight village evaluation under uncertainty with public and private financing. Transport Policy, Vol. 10, N° 2, p. 141–156.

Chapitre VII

BEI (2005) « Évaluation des projets de type PPP financés par la BEI » Rapport de synthèse

BEI (2009) « Le financement par la BEI des réseaux transeuropéens » Brochure sectorielle

CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSÉES (2000) Rapport sur la refonte du cadre régissant les voies ferrées établies sur le domaine portuaire. Affaire n° 1998-0244-01

COUR DES COMPTES (2006) Rapport public thématique sur « Les ports français face aux mutations du transport maritime : l'urgence de l'action »

COWI (2006) "Midterm/Final Evaluation of the Trans-European Network (TEN) Risk Capital Facility" Final Report for the EC/DG-TREN

DoMo : document de mise en œuvre du programme FEDER 2007-2013 en Languedoc-Roussillon ;

ESPO-ITMMA (2007) Annual Report 2006-2007

LYONNET DU MOUTIER M. (2006) « Financement sur projet et partenariats public-privé » Editions EMS ;

RÈGLEMENT (CE) N° 2236/95 DU CONSEIL du 18 septembre 1995 déterminant les règles générales pour l'octroi d'un concours financier communautaire dans le domaine des réseaux transeuropéens.

SAVVIDES S.C. (1994) “Risk Analysis in Investment Appraisal” in Project Appraisal, Volume 9 Number 1, pages 3-18

TRANCHIDA M. (2007) “Regimi proprietari, assetti gestionali e finanziamento pubblico dei porti nell’Unione Europea” thèse de l’université de Bologne.

WIEGMAN B., UBBEL B., RIETVELD P., NIJKAMP P. (2002) “Investments in Container Terminals: Public Private Partnerships in Europe” International Journal of Maritime Economics, 2002, 4, (1-20).

Indice des figures, des tableaux et des encadrés

Indice des figures

Figure 1 La fonction de coût total logistique (source McKinnon) 30
Figure 2 Réseau avec un centre de groupage entre origines et destinations 33
Figure 3 Le modèle ADA (source Ben-Akiva et De Jong) 34
Figure 4 Réseau hub&spoke (source Racunica, Winter) 40
Figure 5 Rapport entre une fonction de coût linéaire et une fonction de coût non linéaire (source Racunica, Winter) 41
Figure 6 Relation entre activité économique et transport de marchandises pour les régions françaises en 2004 (source : base de données SITRAM pour le transport de marchandises et INSEE pour la valeur ajoutée régionale hors commerce, transport et services) 50
Figure 7 Nombre d'établissements par commune et secteur d'activité dans la zone de Lyon (source : INSEE 2004 élaboré avec Transcad®) 51
Figure 8 Relation entre le nombre d'établissements et les tonnes transportées par région française (source INSEE 2006 pour le nombre d'établissements et SITRAM 2006 pour les tonnes transportées) 51
Figure 9 Carte du réseau ferré national (source : RGI-RFF élaboré avec Transcad®) 53
Figure 10 Evolution de la part des nouvelles entreprises ferroviaires (NEF) en sillons-km et trains-km pendant l'année 2009. (source : Tableau de bord du Pôle Commercial RFF). 55
Figure 11 Représentation des modes de transport par envoi dans l'enquête ECHO 2004 (source : enquête ECHO 2004) 58
Figure 12 Le transport combiné et conventionnel à la SNCF (source : MEDAD) 61
Figure 13 Evolution des tonnes-km du transport combiné et conventionnel à la SNCF (source : MEDAD) 61
Figure 14 Les sillons de transport combiné en 2007 (source RFF) 62
Figure 15 Les principaux terminaux du transport combiné en France (source : RFF) 63
Figure 16 Relations entre acteurs dans le système du transport combiné 64
Figure 17 Evolution du trafic combiné en UTI pour les principaux opérateurs européens (source : UIRR) 66
Figure 18 Trafic combiné en UTI pour les principaux opérateurs européens (source : UIRR) 66
Figure 19 Les chantiers de transport combiné en Allemagne gérés par la DUSS (source DUSS) 67
Figure 20 Les chantiers de transport combiné en Italie gérés par Terminali Italia (source Terminali Italia) 68
Figure 21 Le réseau de transport combiné de Hupac (source : Hupac) 69
Figure 22 Principaux flux nationaux de transport combiné terrestre en France en 2006 (source : SitraM, travaux de l'auteur avec Transcad®) 72
Figure 23 Potentiel de croissance du transport combiné terrestre en France (source : SitraM) 73
Figure 24 Origine et destination selon la région des échanges avec l'Italie en transport combiné (source CAFT2004) 74
Figure 25 Trafics de transport combiné échangés entre l'Espagne et les régions françaises (source CAFT2004) 75
Figure 26 Comparaison entre le trafic total (actuel et potentiel) et la capacité totale (actuelle et potentielle) pour le transport combiné par région française (source : SitraM/CAFT2004/UIRR/RFF/opérateurs) 76

Figure 27 Schéma de fonctionnement d'un chantier de transbordement 80
Figure 28 Formalisation de l'algorithme de calcul de la capacité commerciale d'un chantier de transbordement 86
Figure 29 Validation de la formulation proposée pour l'estimation de la capacité des C.T. ... 87
Figure 30 Comparaison de la capacité des C.T. entre l'Allemagne (DUSS), l'Italie (Terminali Italia) et la France (RFF) 88
Figure 31 Représentation en arbre des stratégies possibles 98
Figure 32 Relations entre acteurs dans le système du transport combiné 101
Figure 33 Montage financière de l'extension du terminal de transport combiné de Perpignan St. Charles 107
Figure 34 Efficacité des aides au transport combiné par segment de marché (source DAEI-SESP-INSEE, 2005) 111
Figure 35 Rentabilité financière des opérations inscrites aux CPER pour le transport combiné selon le critère de la VAN/I en fonction de la variation d'EBE 115
Figure 36 Schéma simplifié des voies ferroviaires qui desservent le port de Marseille-Fos (source Port de Marseille) 121
Figure 37 Les relations entre acteurs dans les investissements portuaires (source Wiegmans et alii, 2002) 122
Figure 38 Principales sociétés de gestion des terminaux portuaires en Europe (source ESPO – ITMMA) 123
Figure 39 Opérations de la BEI en faveur des réseaux et corridors transeuropéens 1993-2008 (source : BEI, 2009) 125
Figure 40 Structure typique d'un PPP dans le secteur routier avec intervention de la BEI (source : BEI, 2005) 126
Figure 41 Montant des PPP octroyés par la BEI sur la période 1990-2004 (source : BEI, 2005) 127
Figure 42 Ventilation des PPP par secteur d'activité sur la période 1990-2004 (source : BEI, 2005) 127
Figure 43 La structure du fonds Galaxy (source : Galaxy fund) 128
Figure 44 Les zones d'éligibilité des fonds FEDER (source : Wikipedia) 129
Figure 45 Exemple de financement FEDER relatif au développement des infrastructures intermodales en Languedoc-Roussillon (source DoMo FEDER Languedoc-Roussillon 2007-2013) 132
Figure 46 Méthode d'évaluation financière pour un nouvel investissement dans une plateforme intermodale (source : Tsamboulas et Kapros, 2003) 133

Indice des tableaux

Tableau 1 Analyse comparative de la disponibilité des tableaux entrées-sorties à partir de la base de données Eurostat (source Eurostat) 45
Tableau 2 Correspondance proposée entre la nomenclature NACE REV.2 et la nomenclature NSTR 49
Tableau 3 Taux de sondage de l'enquête CAFT 2004 pour le transport routier aux passages alpins (source www.processus-de-zurich.org) 56
Tableau 4 Comparaison de la productivité des chantiers de transbordement rail-route en 2008 70
Tableau 5 Aire d'encombrement moyen des conteneurs (source Sartor) 83
Tableau 6 Estimation de la productivité des C.T. à travers une formulation de la fonction de production Cobb-Douglas 89
Tableau 7 Représentation en forme normale du jeu 98

Tableau 8 Estimation du bilan global du transport combiné en France en 2006 102
Tableau 9 Estimation du bilan financier pour le chantier de transport combiné de Perpignan St. Charles 108
Tableau 10 Estimation du bilan socio-économique pour le chantier de transport combiné de Perpignan St. Charles 112
Tableau 11 Estimations du bilan financier et socio-économique pour le chantier de transport combiné de Perpignan St. Charles..... 113
Tableau 12 Opérations inscrites aux CPER pour le transport combiné 114
Tableau 13 Rentabilité financière des opérations inscrites aux CPER pour le transport combiné selon le critère du TRI en fonction de la variation d'EBE 116

Indice des encadrés

A. Les coefficients techniques et l'inverse de la matrice de Leontief..... 16
B. La marge du transport 20
C. Les modèles SCGE et l'équilibre de Nash : le modèle SPE 22
D. Formulation analytique d'une fonction de coût total logistique 26
E. Exemple de calcul de jour ouvrable de base (JOB) sur l'année..... 54
F. L'estimation de la capacité d'un chantier de transbordement: le cas du terminal Hupac à Busto Arsizio – Gallarate 86
G. Les oligopoles et la théorie des jeux 92
H. La création d'une société de gestion unique pour les chantiers de transport combiné.... 100