HAL
archives-ouvertes.fr

Analyse et modélisation de l'impact de la libéralisation sur les performances ferroviaires

Emmanuel Bougna Tchofo

▶ **To cite this version:**

Emmanuel Bougna Tchofo. Analyse et modélisation de l'impact de la libéralisation sur les performances ferroviaires. Economies et finances. Université de Lyon, 2017. Français. NNT : 2017LYSE2032 . tel-01643674

HAL Id: tel-01643674
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01643674

Submitted on 21 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° d'ordre NNT : 2017LYSE2032

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 486 Sciences Économique et de Gestion

Discipline : Sciences économiques

Soutenue publiquement le 5 mai 2017, par :

Emmanuel BOUGNA TCHOFO

Analyse et modélisation de l'impact de la libéralisation sur les performances ferroviaires / How to analyse and model the impacts of liberalization on railways performances?

Devant le jury composé de :

Stéphanie SOUCHE, Professeure des universités, Université Lumière Lyon 2, Présidente

François MIRABEL, Professeur des universités, Université Montpellier 1, Rapporteur

Thierry VANELSLANDER, Professeur d'université, Université d'Anvers, Rapporteur

Yves CROZET, Professeur émérite des universités, Institut d'études politiques de Lyon, Directeur de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « Paternité – pas d'utilisation commerciale – pas de modification » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

Université Lumière Lyon 2

Ecole doctorale 486 Sciences Economiques et de Gestion

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion

Laboratoire Aménagement Economie Transports

Analyse et modélisation de l'impact de la libéralisation sur les performances ferroviaires

Par Emmanuel BOUGNA

Thèse de doctorat en Sciences économiques

Dirigée par ***Yves CROZET***

Présentée et soutenue publiquement le vendredi **05 Mai 2017**

Composition du jury :

Stéphanie SOUCHE, Professeure Université de Lyon 2,	Présidente du jury
Yves CROZET, Professeur Université de Lyon 2,	Directeur de thèse
François MIRABEL, Professeur, Université de Montpellier 1	Rapporteur
Thierry VANELSLANDER, Professeur, Université d'Anvers (Belgique)	Rapporteur
Grégoire MARLOT, Docteur, SNCF, Direction de la stratégie	Expert

« L'université de Lyon n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse, elles doivent être considérées comme propres à leurs auteurs »

DEDICACE

A mes parents Mr et Mme BOUGNA,

à Linda,

à Christèle,

à Marie-Anaïs,

à mes frères et sœurs,

à tous ceux qui me sont chers et proches.

Remerciements

Je suis heureux d'achever aujourd'hui ces cinq années de thèse. Bien que la réalisation d'une thèse ait toute l'apparence d'un long parcours académique solitaire, diverses personnes ont contribué à différents degrés à l'aboutissement de ce projet parfois périlleux, avec ses hauts et ses bas.

J'exprime ma profonde gratitude à mon directeur Yves Crozet, qui a accepté de consacrer son précieux temps à diriger les travaux de cette thèse. Ses commentaires éclairés, ses judicieux conseils, sa disponibilité et ses encouragements m'ont aidé à mener à terme mes travaux de recherche. Grâce à vous, mes résultats ont été présentés, lus et débattus lors des grands rencontres scientifiques. Je vous dis merci pour votre générosité permanente.

J'exprime ma gratitude à toute l'équipe du LAET (Laboratoire Aménagement Économie Transport) avec sa tête Charles Raux pour l'accueil chaleureux et pour tout le soutien reçu durant ces années.

Mes remerciements vont à tous les chercheurs membres du LAET, en particulier aux professeurs et professeurs émérites Alain Bonnafous, Bruno Faivre D'Arcier et Stéphanie Souche, aux maîtres de conférences Florent Laroche, Christian Desmaris, et Aurélie, au chargé de recherche Dominique Bouf et à l'ingénieur d'étude Nicolas Ovtracht. Les nombreuses discussions que nous avons eues ainsi que vos conseils ont été pour beaucoup dans la réalisation de ce travail.

Je pense également aux personnels administratifs du LAET, Sophia El Bahi, Nicole Pravaz, Morgane Deplanque et Martine Sefsaf avec qui j'ai partagé des moments conviviaux et qui ont su m'aider et m'encourager. Aux valeureux et courageux compagnons de route que j'ai rencontrés. Les doctorants du LAET, Cécile Chèze, Xavier Compte et Minghui Chen.

Dans le cadre de TransportNet, mon ouverture européenne, a été possible grâce aux professeurs Thierry Vanelslander (TPR, Université d'Anvers) et Kay Mitusch (Karlsruhe Institute of Technology) qui m'ont chacun accueilli dans leur laboratoire et m'ont fait bénéficier de leur expertise.

J'exprime également ma reconnaissance aux professeurs Eddy Van de Voorde et Hilde Meersman (TPR, Université d'Anvers). Par vos remarques, vos conseils et vos suggestions, vous avez enrichi mon séjour à Anvers.

Mes remerciements vont également à Katrien De Langhe (TPR, Université d'Anvers), Yasmine Rashed et Jan Ihrig, (Karlsruhe Institute of Technology) qui ont rendu mon séjour possible respectivement à Anvers et à Karlsruhe. Je remercie tous les thésards d'Anvers

(TPR) et de Karlsruhe (KIT) pour la bonne ambiance de travail mais également pour les nombreux bons moments passés ensemble.

Je suis très honoré de la présence à mon jury et je tiens à remercier :

François Mirabel, professeur à l'université de Montpellier 1 et Thierry Vanelslander, professeur à l'université d'Anvers, pour leurs participations à mon jury de thèse en qualité de rapporteur de mon travail pour le temps qu'il a consacré à la lecture de cette thèse.

Stéphanie Souche, professeure à l'université Lyon 2 qui a accepter de présider mon jury de thèse et Grégoire MARLOT, pour sa participation en qualité d'expert.

La région Auvergne-Rhône-Alpes (ex Rhône-Alpes) qui a accepté de financer les trois premières années de cette thèse

Gérard Brun et Arantxa JULIEN pour l'importance qu'ils accordent aux travaux des doctorants et leurs animations du réseau francophone de socio-économie des transports.

Je remercie mes frères et sœurs aînés : Cyril, Virgile, Sylvanie, Théophile et Virginie qui ont été pour moi un soutien inconditionnel, qu'ils trouvent ici l'expression de mon amour et de mon attachement envers eux. A mes cadets, Aurélie, Florette, Kepler que ceci leur serve d'exemple et qu'ils trouvent ainsi l'expression de mon amour pour eux.

Je suis redevable à mes parents M. et Mme Bougna qui ont été pour moi un guide, un soutien et un réconfort dans les moments difficiles. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon amour pour eux.

J'exprime toute ma reconnaissance à ma fiancée, Monique Christèle qui a été l'aiguillon le plus constant et le plus perspicace, pour m'amener à conduire cette aventure jusqu'au bout. Je pense à mes enfants, Linda et Anaïs qui ont dû accepter ces temps dérobés pour une cause dont le sens leur échappait.

Je tiens également à remercier les familles Nya Jomen, Nimpa, Nouga et Tchoffo pour le soutien qu'elles m'ont apporté. Qu'elles trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Enfin je tiens à remercier tous ceux et celles qui ont cru en moi. Que ceux que j'ai oubliés me pardonnent ! À tous, toutes mes reconnaissances.

Sommaire

DEDICACE **3**

Remerciements **4**

Sommaire **6**

Introduction générale : La problématique du transport ferroviaire **9**

Chapitre 1 La politique ferroviaire de l'Union européenne à la lumière des performances des 4 « majors ». **22**

Introduction **22**

1.1. Analyse comparée des performances des chemins de fer : une approche théorique **25**

1.1.1. Définition des concepts 25

1.1.2. Choix des compagnies à comparer 25

1.1.3. Choix des indicateurs. 28

1.2. Analyse comparée des performances des chemins de fer : un calcul formel des indicateurs **34**

1.2.1. Données 34

1.2.2. Les indicateurs de performance économique 34

1.2.3. Les indicateurs de performance commerciale 45

1.2.4. Les indicateurs de performance productive 53

1.2.5. Analyse de la performance financière 60

Conclusion du premier chapitre **64**

Chapitre 2 Frontières de production et mesure des performances : approche théorique et résultats empiriques **66**

Introduction **66**

2.1. Les fondements théoriques de la performance productive **67**

2.1.1. L'analyse microéconomique de la performance 69

2.2. Les instruments d'analyse des performances productive **71**

2.2.1. Les frontières paramétriques 72

2.2.2. Mesure de la productivité totale des facteurs et ses composants. 80

2.3. **Analyse des performances des chemins de fer : un regard sur le passé.** **82**

2.3.1. Quelques résultats empiriques obtenus à l'aide des méthodes non paramétriques 83

2.3.2. Quelques résultats empiriques obtenus à l'aide des méthodes paramétriques 88

2.3.2.1. Les frontières déterministes 88

2.3.2.2. Les frontières stochastiques ... 91

Conclusion du second chapitre ... 96

Chapitre 3 - Mesure de l'efficacité de certains pays européens : une estimation paramétrique de la fonction distance ... 98

Introduction ... 98

3.1 Schéma d'analyse des performances des chemins de fer ... 100

3.2 Méthodologie. ... 102

3.2.1 Description de l'échantillon ... 102

3.2.2 Description des données et définition des variables ... 103

3.2.3 Présentation des modèles empiriques ... 108

3.3 Analyse et interprétation des résultats ... 113

3.3.1 Validation des modèles ... 114

3.3.2 Analyse globale ... 116

3.3.3 Analyse comparative ... 127

3.4 Mesure et test de convergence ... 145

3.4.1 Les indicateurs de mesure de la convergence ... 145

3.4.2 Le test de la β– convergence ... 147

3.4.3 Test de la σ–convergence ... 150

Conclusion du troisième chapitre ... 161

Chapitre 4 - Concurrence et libéralisation des activités ferroviaires : quelles conséquences pour les performances des compagnies ferroviaires ? ... 164

Introduction ... 164

4.1. Le processus de libéralisation des activités ferroviaires : état des lieux ... 165

4.1.1 Qu'entend-t-on exactement par libéralisation du transport ferroviaire ? ... 165

4.1.2 Comment quantifier le degré de libéralisation ... 167

4.1.3 Evolution du processus de libéralisation en Europe. ... 168

4.1.4 Le processus de libéralisation des activités ferroviaires dans l'Union Européenne: où en sont les Etats membres. ... 169

4.2 Les effets de la libéralisation des activités ferroviaires sur les performances des chemins de fer : revue de la littérature ... 175

4.2.1 L'impact de la séparation verticale et du libre accès sur la performance des compagnies ferroviaires ... 175

4.2.2 Libéralisation et concurrence des chemins de fer : quel impact sur les performances... 184

4.3 Méthodologie et analyses descriptives ... 186

4.3.1 Modèle 186
4.3.2 Technique d'estimation 187
4.3.3 Analyse descriptive 188
4.4 Analyse et interprétation des résultats 201
4.4.1 Validation des modèles 201
4.4.2 Analyse des déterminants des performances : les variables de contrôle. 203
4.4.3 Impact de la dynamique concurrentielle sur les performances des chemins de fer. 206
4.4.4 Impact du degré d'ouverture à la concurrence sur les performances des chemins de fer. 207
Conclusion et implications pour les politiques publiques. 213
Conclusion générale 216
Annexes 223
Bibliographie 241
Index des figures 252
Index des annexes 254
Index des tableaux 255
Table des matières 257

Introduction générale : La problématique du transport ferroviaire

Les activités du transport ferroviaire regroupent l'ensemble des services de transport de personnes et de marchandises. L'infrastructure est la même ou similaire pour ces deux segments, mais le type de transport, l'équipement et les détails de ces infrastructures sont souvent différents. Le transport de voyageurs comprend tout mouvement ou déplacement de voyageurs à bord d'un train. Comme unités de mesure de production de ce segment, on utilise généralement le nombre de voyageurs transportés, le nombre de voyageurs-kilomètres et les parcours des voyageurs. Le transport de voyageurs comporte deux segments, le transport urbain et le transport interurbain lequel inclut les trains conventionnels et les trains à grande vitesse. Dans le même ordre d'idées, le transport de marchandises concerne tous les déplacements de marchandise à bord d'un train. Sa production est évaluée en tonnes-kilomètres ou en tonnes transportées.

Comparé aux autres modes de déplacement, le transport ferroviaire présente un certain nombre d'avantages :

- c'est un moyen de déplacement adapté pour le transport de grandes quantités de marchandises ;

- il présente un niveau de sécurité élevé ;

- c'est un moyen de transport plus écologique que le transport aérien, routier ou maritime (voir figure 1).

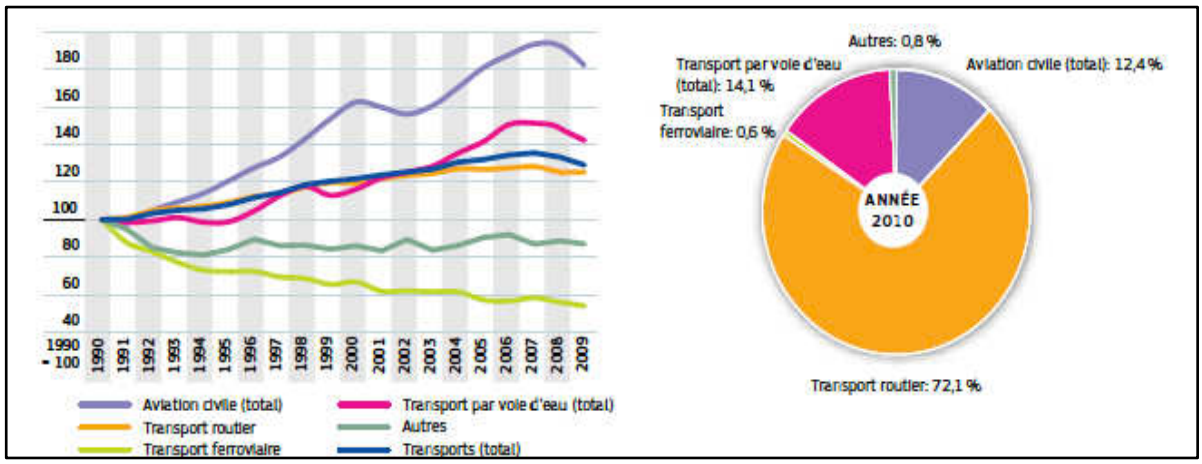


Figure 1 : **Émissions de gaz à effet de serre dans l'UE par mode de transport**
Source : Commission Européenne

À l'échelle mondiale, l'infrastructure ferroviaire couvre un très vaste réseau, plus d'un million de km de voies. En Europe (Russie exclue), l'infrastructure s'étend sur 326 350 km de voies, soit environ 30 % du réseau mondial. L'Europe abrite le plus grand réseau ferroviaire du monde. Le transport ferroviaire est assez utilisé en Europe et dans l'Union européenne. Les réseaux les plus étendus sont ceux de l'Allemagne (33 446 km), de la France (30 013 km), de l'Italie (17 017 km) et du Royaume-Uni (15 753 km).

L'Union européenne dispose de l'un des réseaux de transport ferroviaire les plus denses, mais avec une forte hétérogénéité. Selon les données publiées par Eurostat en 2012, le Luxembourg a le réseau ferré le plus dense avec 263 km pour 1 000 km^2 de superficie. La Suisse occupe la seconde place avec 124 km suivie par la République Tchèque (121 km). L'Allemagne occupe la cinquième place avec une densité de 115 km/1 000 km^2 et la France la quinzième place avec une densité de 53 km/1 000 km^2 (voir figure 2).

À ce niveau, on peut s'interroger sur les principaux déterminants du niveau d'investissement en infrastructure ferroviaire ? Est-ce la densité de la population ? Est-ce la superficie ? La structure géographique ? Ou alors est-ce plutôt un héritage historique ?

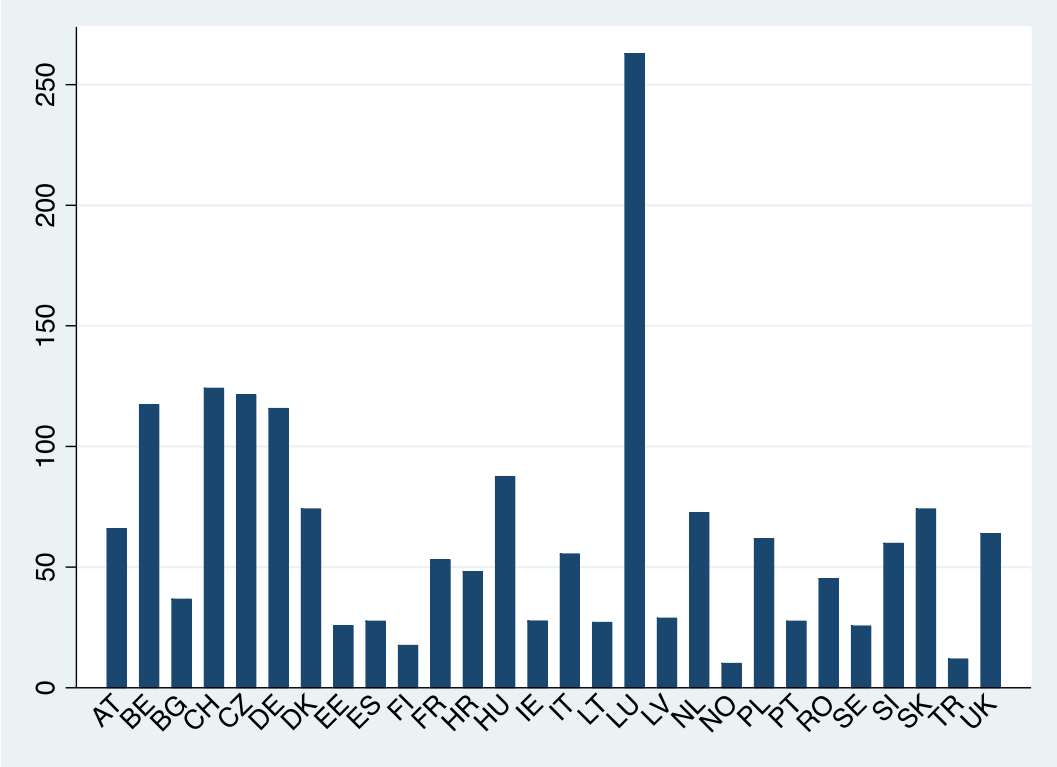


Figure 2 : **Densité du réseau ferré km**
Source : calculs effectués par l'auteur à partir des données Eurostat

La figure 3 montre qu'il est difficile d'établir d'une part une relation linéaire entre la densité de la population et la densité du réseau ferré et d'autre part entre la superficie et la

longueur du réseau ferré. En d'autres termes, la densité de la population et la superficie ne permettent pas de prédire la taille du réseau. Les pays tels que la Hollande, l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie sont ceux qui ont une forte densité de la population mais une faible densité du réseau ferré. Par contre l'Allemagne qui est un pays de moyenne superficie, comparé à la France ou la Turquie, dispose d'un grand réseau contrairement à la Turquie. De même, la France est plus étendue que l'Allemagne mais son réseau est plus petit. La taille des réseaux relève donc aussi de facteurs historiques.

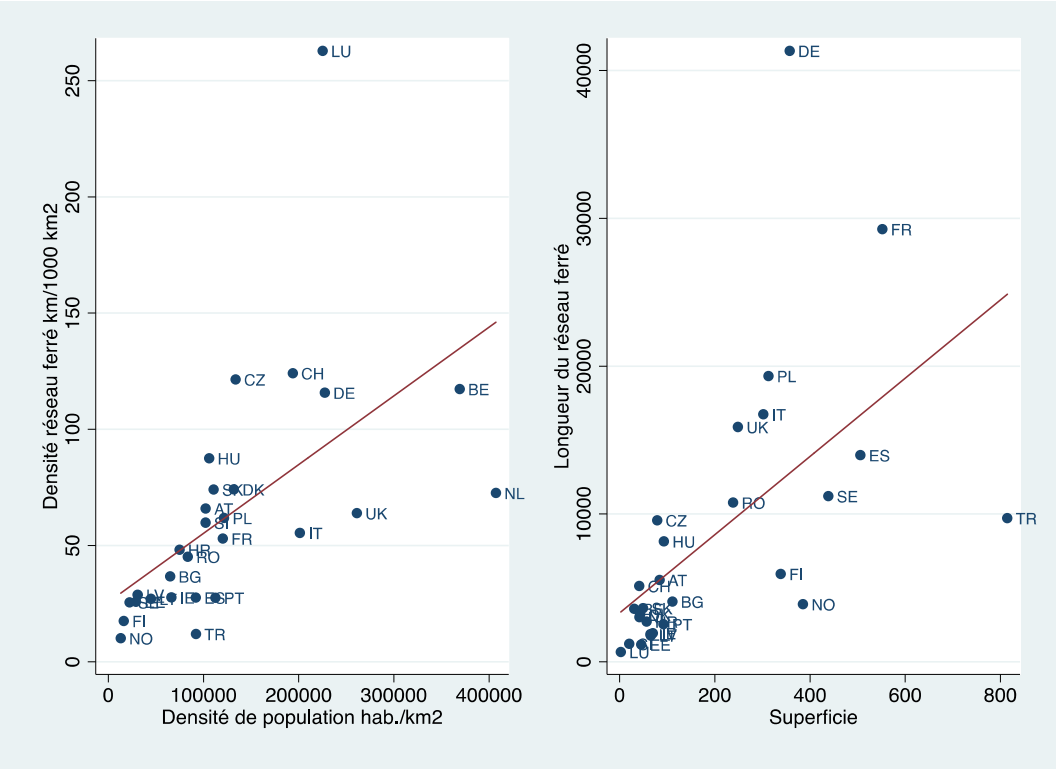


Figure 3 : **Densité du réseau ferré (km/1000 km 2) et densité de la population (hab./km2).** Source : calculs effectués par l'auteur à partir des donnes de l'Eurostat.

Évolution du trafic et des parts de marché.

L'Europe est considéré comme le berceau des chemins de fer, mais à l'heure actuelle, le transport ferroviaire européen souffre de la concurrence de la route, tant pour les voyageurs que pour le fret. Même si le transport ferroviaire est beaucoup plus écologique et statistiquement plus sûr que le transport routier, il a du mal à être compétitif.

Après avoir accompagné la révolution industrielle au XIXe siècle, le transport ferroviaire ne parvient que difficilement à s'adapter aux défis que lui a lancés la route depuis une centaine d'années. Depuis le début du XXe siècle, le rôle des chemins de fer dans le transport des marchandises et de voyageurs n'a cessé de décliner. Dans les pays de l'Union

Européenne, il n'assure plus désormais que 6 % du transport de voyageurs et 16 % du transport de marchandises.

Entre 1970 et 1994, le transport de voyageurs par train est pourtant passé de 330 à 350 milliards de voyageurs-km par an, soit une hausse de 6 %. Mais durant cette même période, le marché global doublait et l'utilisation des voitures individuelles augmentait de 120 %. Parallèlement, le chemin de fer a perdu près du tiers de sa part de marché dans le transport de marchandises passant de 531 à 380 milliards de tonnes-km, soit une baisse de 31 %. Durant cette même période, le marché global de marchandise augmentait de près de 70 % et le transport routier de près de 150 %.

Entre 1995 et 2014, on observe une reprise progressive du trafic de voyageurs par train. Pour les 28 pays de l'Union Européenne, le transport de voyageurs par train est passé de 350 à 428 milliards de voyageurs km, soit une croissance de 22 %. Dans cette même période, les déplacements en voiture personnelle ont enregistré une hausse de 21 %, + 5 % pour les déplacements en autocars et + 74 % pour les déplacements par avion (voir figure 5). Les données montrent que, le transport ferroviaire assure en moyenne 6,5 % du trafic total. On note ainsi une forte prégnance de la voiture personnelle qui représente environ 76 % du trafic.

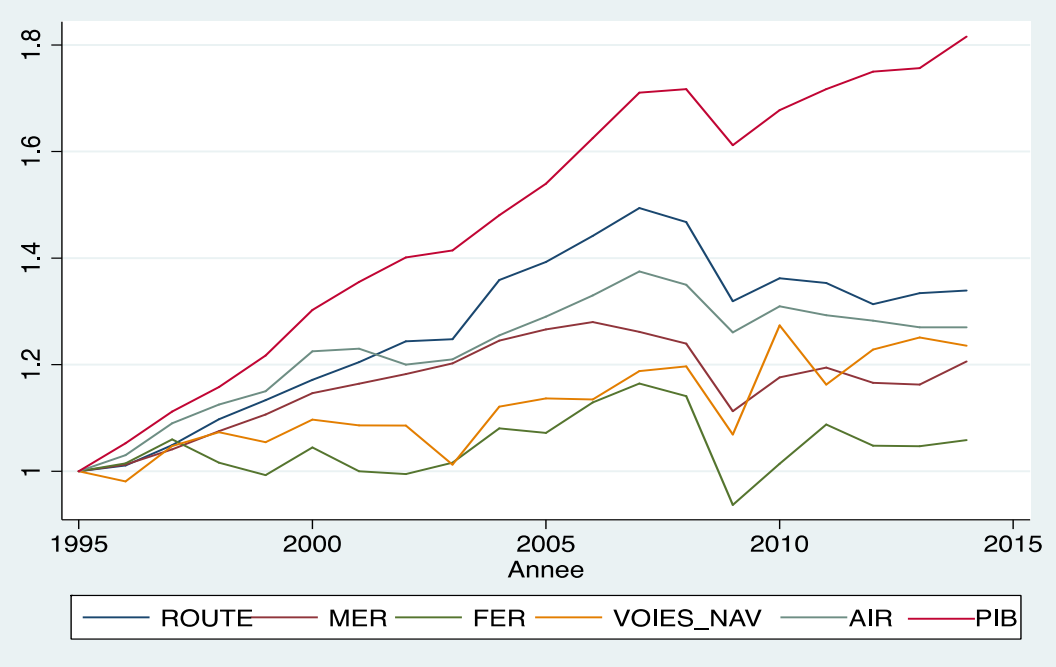


Figure 4 : **Évolution du trafic fret et PIB/hbt des pays de l'UE 28 : Base 100 = 1995**
Source : calculs effectués par l'auteur à partir des données Eurostat & UIC.

Sur le segment du transport de marchandises, on note une croissance de 6 % du ferroviaire, + 25 % pour le fret routier, + 23 % pour les voies navigables intérieures et + 22 % pour le fret aérien (voir figure 4).

Entre 1990 et 2014, on note une baisse générale de 21 % du trafic ferroviaire de marchandises pour l'ensemble des 28 pays de l'Union Européenne (voir figure 6). Cette baisse est imputable au déclin du trafic dans certains pays tels que la Bulgarie (- 75 %), la Roumanie (-75 %), le Luxembourg (- 66 %), l'Estonie (- 53 %), la Grèce (- 49 %), la République Tchèque (- 42 %), la Hongrie (- 39 %) et la France (-38 %). Par contre durant cette même période le trafic s'est amélioré pour certains pays: les Pays-Bas (+101 %), l'Autriche (+ 69 %), le Portugal (+ 67 %), le Danemark (+ 42 %), la Suisse (+ 36 %) et l'Allemagne (+ 11 %).

Pour l'activité transport de voyageurs, on note une croissance moyenne de 6 % pour les 28 pays de l'Union Européenne (voir figure 7). Cependant le constat évident est que le trafic de voyageurs a nettement reculé en Lituanie (- 92 %) en Lettonie (- 88 %) en Roumanie (- 84 %), en Estonie (- 81 %), en Bulgarie (- 78 %) en Croatie (- 73 %), en Pologne (- 68 %) en Slovaquie (- 60 %) et en Slovénie (- 56 %), soit les anciens pays d'économie administrée. En revanche le trafic s'est nettement amélioré au Royaume-Uni (+ 94 %), en Suède (+ 84 %), au Luxembourg (+ 76 %), en Belgique (+ 68 %), en Suisse (+ 57 %), en Allemagne (+ 47 %) et en France (+ 36 %).

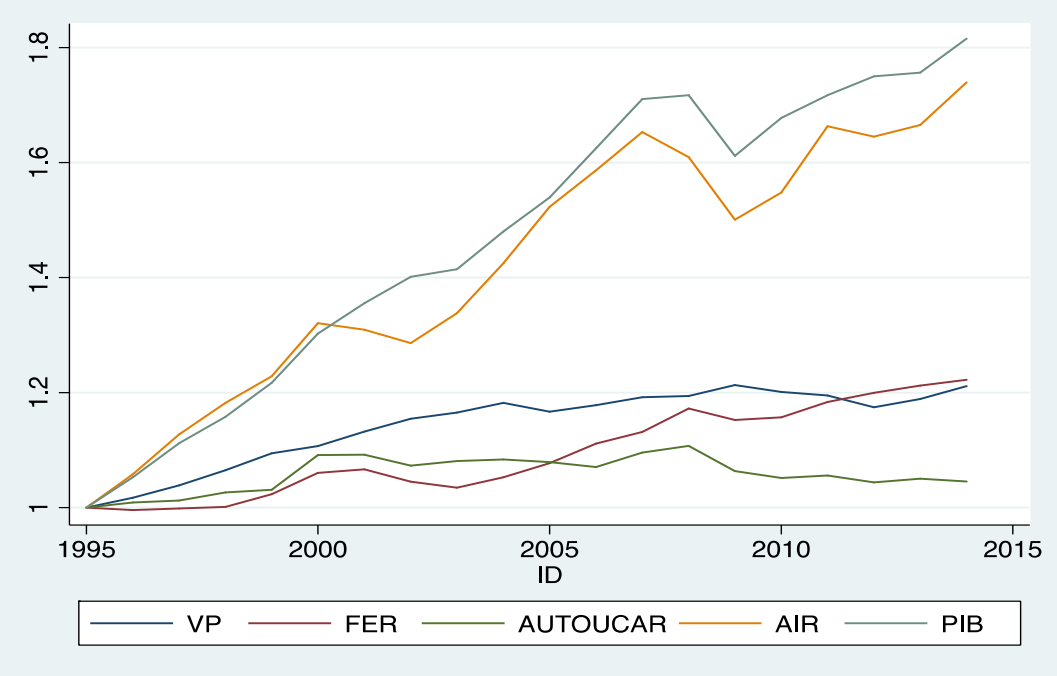


Figure 5 : **Évolution du trafic de voyageurs et PIB/hbt des pays de l'UE 28: Base 100=1995**

Source : calculs effectués par l'auteur à partir des données de l'Eurostat & UIC.

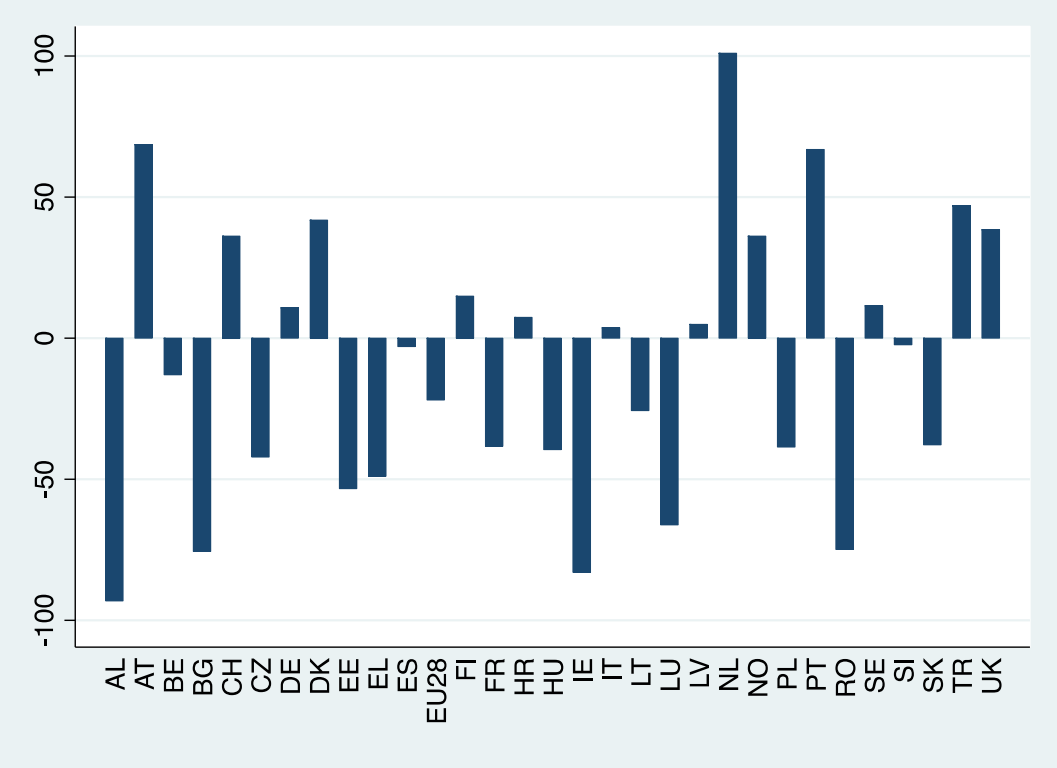


Figure 6 : **Croissance du trafic ferroviaire fret entre 1990 et 2014**
Source : calculs effectués par l'auteur à partir des données de l'Eurostat & UIC.

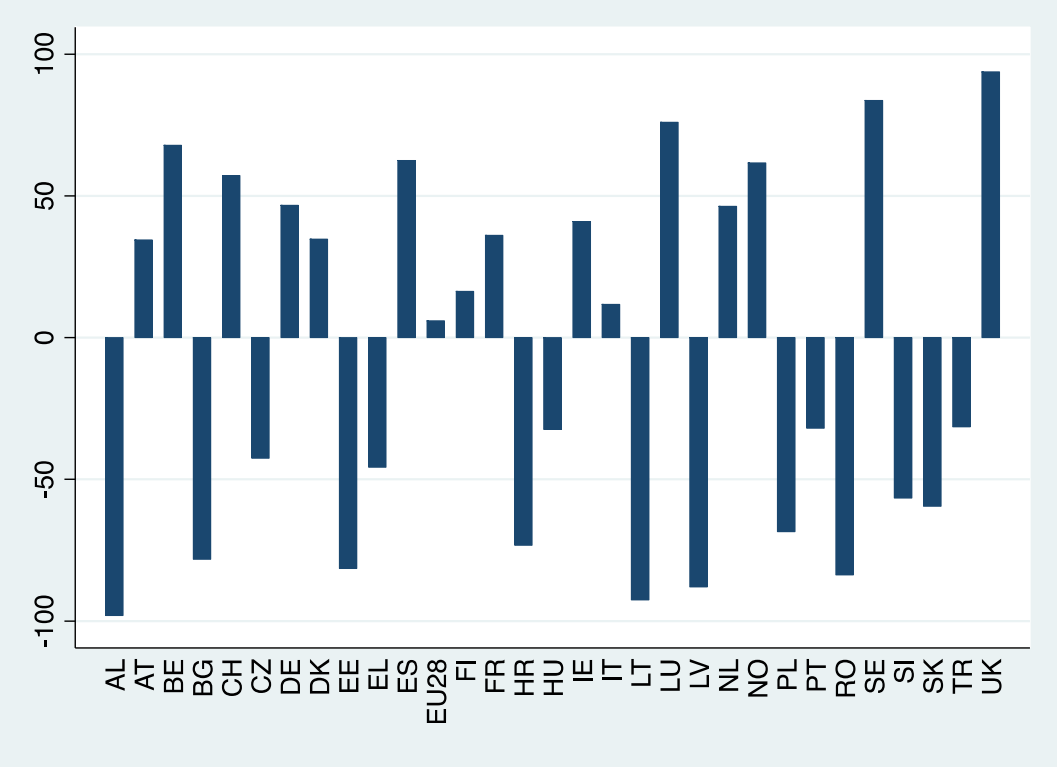


Figure 7 : **Croissance du trafic ferroviaire de voyageurs entre 1990 et 2014**
Source : calculs effectués par l'auteur à partir des données de l'Eurostat & UIC.

Le renouveau du transport ferroviaire européen est aussi marqué par le développement du train à grande-vitesse. Le trafic total de voyageurs « grande vitesse » est de 15 milliards de voyageurs-km en 1990 contre 111 milliards de voyageurs-km en 2014 soit une croissance globale de 740 %. La part du trafic total de voyageurs « grande vitesse » a progressé, elle est passé de 4% en 1990 à 25 % en 2014 (voir figure 8).

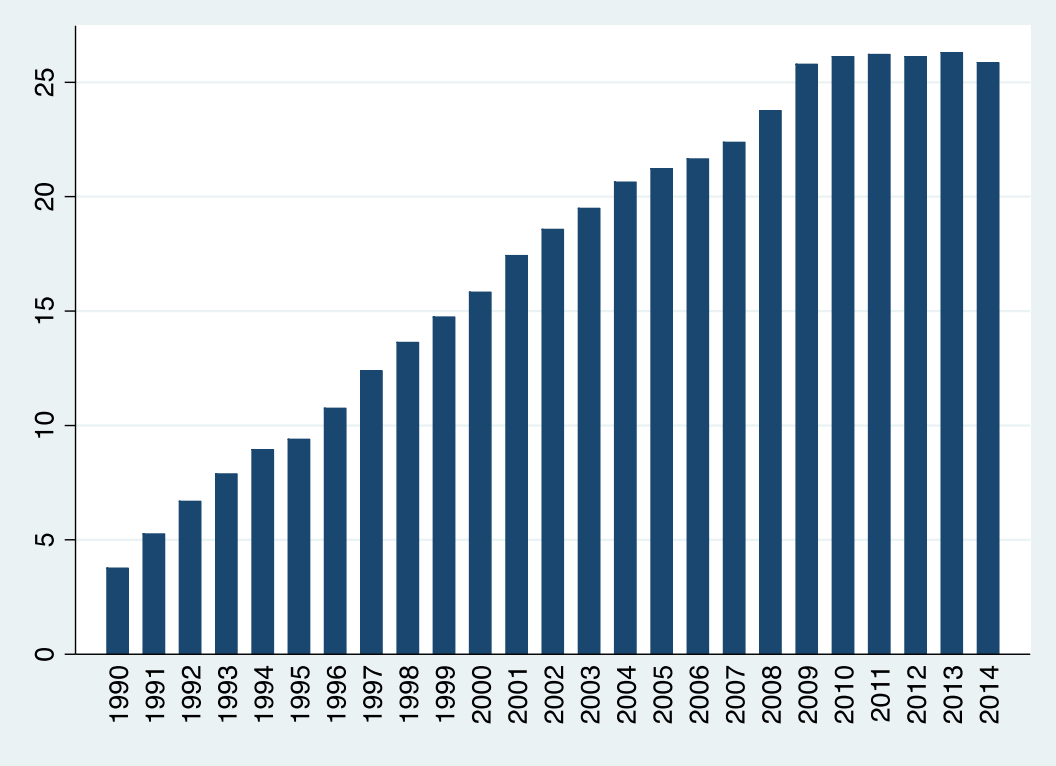


Figure 8 : **Evolution de la part du trafic de voyageurs « grande vitesse ».**
Source : calculs effectués par l'auteur à partir des données Eurostat & UIC.

Les figures 4 et 5, montrent que depuis 1995, le trafic pour l'ensemble des modes est reparti à la hausse mais avec une faible reprise pour le ferroviaire. Toutefois, cette croissance a été en grande partie annulée par la récession économique de 2008 et 2009. À partir de mi-2008, la récession a eu un impact majeur sur le transport de marchandises par rails, influençant entre autres tous les secteurs utilisant les services ferroviaires de fret tels que l'industrie d'extraction, l'acier, les produits chimiques et l'automobile.

Cet état des lieux montre que depuis le début des années 1990, les chemins de fer, ont perdu des parts de marché et ont donc exigé des subventions croissantes. Le transport ferroviaire constitue depuis longtemps un point focalisant l'attention à la fois des pouvoirs publics nationaux et les pouvoirs publics européens. La nécessité d'améliorer cette situation a conduit à imaginer un large éventail de possibilités d'action de la part des pouvoirs publics nationaux et européens.

Il y a 20 ans, la Commission européenne (UE, 1996) diffusait un diagnostic et des propositions visant à remédier au déclin du chemin de fer et à promouvoir ce mode de transport comme pivot d'une politique européenne orientée vers la réalisation d'un grand marché et une mobilité durable. Un vaste programme réglementaire, toujours en cours, allait appuyer cette réforme du marché ferroviaire. La directive 91-440, pionnière et fondatrice, donne la direction souhaitée et recommande notamment de promouvoir l'indépendance des gestionnaires d'infrastructures, ainsi que l'assainissement financier du secteur ferroviaire par le biais de son désendettement. Cette directive est complétée par une série de textes regroupés en trois paquets ferroviaires dont l'objectif est la création d'un espace ferroviaire européen intégré.

Adopté le 26 mars 2001 puis entré en vigueur en 2003, le premier paquet ferroviaire est constitué de trois directives. La directive 2001/12/CE prévoit l'ouverture à la concurrence des services de fret internationaux sur le réseau transeuropéen, tandis que la directive 2001/13/CE précise la méthode d'attribution des licences ferroviaires pour le fret et la directive 2001/14/CE définit plus précisément la tâche de répartition des sillons. Constitué de cinq directives, le deuxième paquet ferroviaire a été adopté en avril 2004. La principale directive de ce dernier est la 2004/51/CE dont l'objectif est d'ouvrir véritablement à la concurrence le fret international au 1er janvier 2006 et le fret domestique au 1er janvier 2007. Proposé dès 2004 et adopté en 2007, le troisième paquet ferroviaire est constitué de quatre directives dont la principale (la directive 2007/58/CE) prévoit une ouverture à la concurrence du trafic voyageur à l'horizon 2010.

La transposition en droit national des directives ne s'est pas faite de façon uniforme au sein des États membres. L'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie sont les pays qui ont ouvert le fret à la concurrence au milieu des années 1990, bien avant le premier paquet ferroviaire. Par contre en Croatie et en Grèce, le fret ferroviaire reste totalement fermé à la concurrence. Pour l'activité transport de voyageurs, le constat est assez différent. Deux situations apparaissent : la première regroupe les pays dont le libre accès est garanti et actif. Dans cette catégorie on peut citer principalement l'Allemagne, le Royaume-Uni, la Hongrie, la Pologne, l'Autriche, l'Estonie, la Slovaquie et la Suède. La seconde situation regroupe les pays dont le libre accès est inscrit dans la loi sans être effectif. On peut citer, la Croatie, la Finlande, la Grèce la Norvège et la Slovénie. En France, seul le trafic international de voyageurs est ouvert à la concurrence.

La gouvernance des compagnies ferroviaires en Europe.

Pour faire face au déclin du transport ferroviaire, la Commission Européenne a proposé des mesures visant à la séparation verticale entre le gestionnaire de l'infrastructure et la société d'exploitation des trains. L'application des directives 2001/12/CE et 2001/14/CE diffère d'un pays à un autre. Dans l'Union Européenne, l'industrie ferroviaire est gouvernée par trois modèles d'organisation : une séparation verticale complète, l'intégration et un modèle hybride (voir figure 9).

Dans un modèle verticalement séparé, le gestionnaire de l'infrastructure est une compagnie totalement indépendante de celle(s) en charge de la fourniture des services ferroviaires. Parmi les pays qui ont opté pour ce modèle d'organisation on peut citer : les Pays-Bas, la Bulgarie, le Danemark, la Finlande, le Royaume-Uni, le Portugal, l'Espagne.

Dans une structure verticalement intégrée, il existe une séparation légale et fonctionnelle entre la gestion de l'infrastructure et les opérations de transport. Cependant les deux compagnies en charge de ces activités sont chapeautées par une unique compagnie, on parle aussi d'une organisation sous forme de holding. Comme exemple on peut citer : l'Autriche, l'Allemagne, la Belgique, la Hongrie

Enfin le troisième modèle d'organisation est connu sous le nom de modèle hybride ou encore séparation partielle. Dans cette approche, il y a une séparation organisationnelle et juridique entre le gestionnaire de l'infrastructure et le fournisseur de service ferroviaire, mais de nombreuses activités de gestion de l'infrastructure sont sous-traitées à l'opérateur des trains. Dans cette catégorie on peut citer la France (jusqu'en 2015) et la République Tchèque.

Il est important de noter que chaque modèle d'organisation présente des avantages et des inconvénients. Cependant, les avis restent partagés en ce qui concerne le choix du meilleur modèle d'organisation. Les pouvoirs publics nationaux et de plus en plus les pouvoirs publics européens doivent déterminer quelle est pour le secteur ferroviaire, la forme la plus efficiente et la plus efficace de la réglementation et de propriété (Oum et al., 1999).

Malgré de nombreuses réformes entreprises à l'échelle nationale et à l'échelle européenne, le transport ferroviaire n'a toujours pas pu accroître ses parts de marché et le trafic n'a toujours pas atteint le niveau des années 1970 et 1990. Ce constat nous amène à nous interroger sur l'efficacité des politiques ferroviaires menées au sein de l'Union Européenne depuis le début des années 90. Peuvent-elles réellement redresser le transport

ferroviaire européen ? Si oui quels sont les obstacles qui ont jusqu'à ce jour limité leur succès ? En outre, va-t-on réellement vers un espace ferroviaire unique européen ?

La mesure des performances des chemins de fer mérite donc un intérêt particulier car elle permet d'établir des parallèles avec les autres secteurs de l'économie et de tenter de déterminer l'influence des différentes dispositions institutionnelles par le biais des comparaisons dans le temps ou avec d'autres chemins de fer fonctionnant dans le cadre d'autres dispositions (ECMT, 2000).

	Séparation : BG, DK, ES, FI, GR, NL, NO, PT, RO, SE, SK, GB
	Modèle Intégré : AT, BE, CH, DE, HU, IE, IT, LT, LU, LV, PL, SI, FR*
	Modèle Hybride FR**, CZ

* A partir de 2015
** Avant 2015

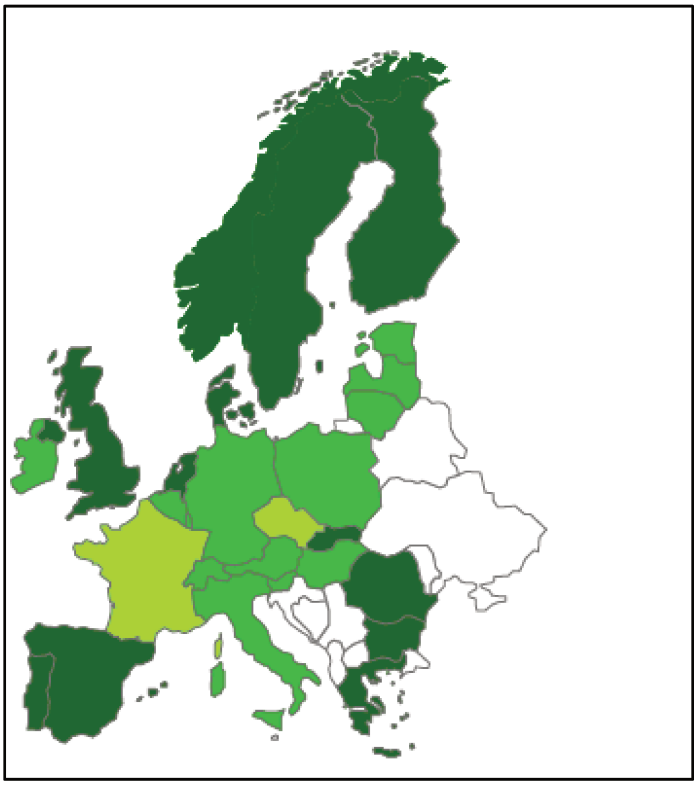


Figure 9 : **Carte des pays d'Europe suivant le modèle d'organisation des chemins de fer**
Sources : IBM, 2011

Les chemins de fer présentent cependant trois caractéristiques qui rendent particulièrement complexe la mesure des performances : la multiplicité des produits ; la complexité du processus de production, et notamment la multiplicité des moyens de production ; les coûts liés et les économies d'échelle et enfin les différences dans les contextes d'exploitation, et notamment les facteurs géographiques et les interventions des pouvoirs publics faisant obstacle à une prise de décision sur une base purement commerciale.

Dans un milieu assez hétérogène comme celui du transport ferroviaire européen, la question se pose de savoir comment mesurer et comparer les performances des entités qui *a priori* ne semblent pas être comparables ? Cette étude a donc pour vocation de dépasser ces

limites. Grâce aux méthodes de traitement des données, nous essayerons de proposer une analyse comparative des performances des chemins de fer sur une période donnée.

Positionnement et problématique de recherche

Dans un contexte de marasme ferroviaire européen, nous voulons apprécier les performances des chemins de fer afin d'identifier les principaux facteurs qui permettront d'éviter leur déclin. Nous partons de l'idée que les chemins de fer se doivent d'être performants sur le plan de la production et de la commercialisation des services produits. Ces hypothèses nous permettent de centrer notre recherche sur la mesure de trois indicateurs d'efficacité : l'efficacité productive, l'efficacité commerciale et l'efficacité technique. Ils font exclusivement appel à des grandeurs physiques d'inputs et d'outputs et présentent de ce fait un avantage par rapport aux mesures de la rentabilité et de la minimisation des coûts qui font intervenir dans les calculs les prix des inputs et des outputs.

Le concept d'efficacité technique a trouvé son origine dans les travaux de (Koopmans, 1951) sur l'analyse de la production et a été utilisé dans un cadre empirique par (Farrell, 1957). Depuis lors, plusieurs études empiriques ont vu le jour et ont connu un développement remarquable. Deux approches économétriques sont généralement utilisées pour évaluer l'efficacité : l'approche paramétrique et l'approche non paramétrique. L'approche est dite paramétrique lorsqu'une forme fonctionnelle est spécifiée pour la frontière de production, dans le cas contraire on parle de frontière non paramétrique. Pour évaluer les performances de compagnies ferroviaires européennes, nous utiliserons une méthodologie fondée sur l'estimation d'une frontière paramétrique.

Dans la pratique, une autre question se pose sur le choix de la frontière : stochastique ou déterministe ? Cette question est fondamentale car la nature de la frontière influence l'efficacité. En effet dans l'approche par la frontière déterministe, l'efficacité est déterminée par l'écart à cette frontière. Par contre dans les modèles de frontière stochastique, l'écart à la frontière est déterminé par le niveau d'efficacité et un terme d'erreurs. Les frontières stochastiques peuvent donc être considérées comme des modèles à erreurs composées.

Cette recherche a donc pour objectif d'évaluer la performance des chemins de fer à travers l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité technique et enfin la productivité totale des facteurs. Notre problématique de recherche se résume donc en deux questions principales : « Comment évaluer les performances des chemins de fer ? Quels sont les effets de la libéralisation sur les performances des chemins de fer ? ».

Il s'agit de s'interroger sur :

- Les outils permettant d'évaluer les performances des chemins de fer
- L'efficacité des politiques ferroviaires européennes et en particulier les effets de la directive 91-440 qui est pionnière et fondatrice de l'espace ferroviaire européen intégré.
- L'impact de l'intensité des barrières à l'entrée sur les performances des chemins fer.
- L'impact de la dynamique concurrentielle sur les performances des compagnies ferroviaires
- Le projet de création d'un espace ferroviaire européen unique

À ces différentes questions, nous sommes appelés à apporter des éléments de réponses à l'issue de cette étude.

Notre démarche méthodologique est fondée essentiellement sur des travaux empiriques et sur des recherches documentaires. Nous avons utilisé un panel de 17 pays de l'Union Européenne observé entre 1997 et 2011 pour les traitements économétriques et un panel de 4 compagnies ferroviaires observé entre 1990 et 2012 pour d'autres analyses comparatives. Pour les traitements économétriques, notre panel a été constitué suivant deux critères, la disponibilité et la significativité des données. Ces deux critères nous ont permis d'obtenir un échantillon de 17 pays observés entre 1997 et 2011.

Sur cette base, la recherche s'articule autour de 4 chapitres :

Dans le **premier chapitre**, nous menons une analyse comparée des performances de quatre compagnies (la DB en Allemagne, la SNCF en France, la RENFE en Espagne et les FS en Italie) observées entre 1990 et 2012. L'objectif étant d'évaluer l'efficacité de la directive 91-440 du 29 juillet 1991 relative au développement de chemins de fer communautaires. Pour ce faire, nous utilisons une démarche fondée sur le calcul des indicateurs partiels de productivité. Ces indicateurs nous ont permis d'évaluer la performance productive, commerciale, économique et financière. Certes les indicateurs de mesures partielles de la productivité sont faciles à calculer, toutefois ces mesures ont été critiquées pour leur caractère trop immédiat, en ce qu'elles ne parviennent pas à donner une mesure unique de l'efficacité. Pour remédier à cette limite, le chapitre 3 utilise des méthodes plus complexes qui permettent d'avoir un indicateur unique de la performance.

Le **second chapitre** aborde le cadre théorique de l'efficacité technique, en passant en revue les fondements théoriques et en présentant la méthodologie des frontières. Pour compléter cette analyse, nous proposons une revue de littérature non exhaustive des études

empiriques portant sur l'évaluation des performances des chemins de fer. L'objectif étant donc de présenter de manière sommaire les méthodes qui sont généralement employées pour évaluer les performances et de discuter de la pertinence du choix d'une méthode d'évaluation des performances des chemins de fer. Un accent particulier est porté sur les modèles de frontières paramétriques stochastiques puisque c'est cette catégorie de modèle que nous allons utiliser dans le chapitre suivant pour évaluer les performances des chemins de fer en Europe.

Dans le **troisième chapitre** nous utilisons des techniques économétriques pour estimer les modèles de frontières paramétriques que nous avons présentés au chapitre précédent. Ce chapitre a un double objectif.

– Il utilise trois indicateurs de performance (l'efficacité productive, l'efficacité commerciale et l'efficacité technique) pour comparer les performances d'un panel constitué de 17 pays européens observé entre 1997 et 2011. L'enjeu majeur est d'identifier les pays les plus performants et de voir comment cette performance a évolué dans le temps.

– Les tests de bêta convergence et de sigma convergence sont appliqués pour détecter la convergence vers l'état stationnaire. L'objectif est de voir s'il y a un phénomène de rattrapage. Autrement dit, ces tests permettent de répondre à la question suivante : « Les pays les moins performants en début de période peuvent-ils rattraper ceux qui étaient plus performants en début de période ? »

Enfin le **quatrième chapitre** est consacré à l'analyse de la potentielle corrélation entre d'une part les indicateurs de performance (ceux calculés au chapitre 3) et la dynamique concurrentielle, et d'autre part entre ces mêmes indicateurs et le degré d'ouverture à la concurrence. Pour cela, nous estimons un modèle à variables dépendantes limitées dans lequel les indicateurs de performance sont utilisés comme variables à expliquer. Comme variables explicatives, nous utilisons respectivement un indicateur du degré de libéralisation et un indicateur de la dynamique concurrentielle. À ces deux variables sont ajoutées un certain nombre de variables économiques et environnementales qui serviront de variables de contrôle.

L'analyse économétrique de ces résultats nous permettra de juger l'efficacité des politiques ferroviaires européennes et en même temps de voir si la construction d'un espace ferroviaire européen intégré est un projet réalisable. Nous terminerons cette étude par une synthèse générale des résultats qui rappellera aussi les limites du travail et les pistes de recherches qui en découlent.

Chapitre 1 La politique ferroviaire de l'Union européenne à la lumière des performances des 4 « majors ».

Introduction

Le transport ferroviaire constitue depuis longtemps un point focalisant l'attention à la fois des pouvoirs publics nationaux et des pouvoirs publics européens. Dans de nombreux pays, le rail a perdu des parts de marché tout en exigeant des subventions croissantes. La nécessité de remédier à cette situation a conduit à imaginer un large éventail de possibilités d'actions de la part des pouvoirs publics nationaux et européens. Ainsi la mesure des performances des compagnies ferroviaires mérite un intérêt particulier puisqu'elle permet d'établir un parallèle avec d'autres secteurs de l'économie et de déterminer l'influence de différentes dispositions institutionnelles par le biais d'une comparaison dans le temps ou avec d'autres compagnies fonctionnant dans le cadre d'autres dispositions. Trois approches sont généralement utilisées pour mener une analyse comparative : l'analyse des indices de mesure partielle de productivité, l'indice de productivité totale des facteurs et enfin l'analyse des comptes de surplus.

La première approche a été utilisée notamment par le British Railways Board (1979) et par Nash (1985) pour des comparaisons internationales. Leur démarche est fondée sur l'étude d'indicateurs partiels de productivité. Afin de mesurer les performances de la British Railways avant leur disparition suite à la réforme de 1994, Nash et Preston (1994) ont utilisé une série d'indicateurs de mesures partielles de la productivité pour comparer les performances de cette compagnie avec celles des compagnies ferroviaires de l'Europe de l'Ouest. Les indicateurs utilisés à cet effet permettaient d'évaluer la performance productive, commerciale et financière.

Cette étude est fondée sur un panel de quatorze compagnies ferroviaire des pays de l'Europe de l'Ouest observées entre 1971 et 1991. Ces auteurs ont montré que durant cet intervalle de temps, la productivité de la main-d'œuvre de la British Railways s'est améliorée et est devenue supérieure à celle des autres compagnies de l'échantillon. L'analyse des indicateurs de performance financière révèle un taux de couverture des charges d'exploitation plus élevé que le reste de l'échantillon. Cependant, l'analyse de la performance commerciale

montre une perte rapide des parts de marché comparée aux autres compagnies de l'échantillon.

Afin de mesurer l'impact d'un modèle d'organisation du système ferroviaire sur les performances de celui-ci, Bougna et Crozet, (2014) ont utilisé les indicateurs de mesures partielles de productivité pour comparer les performances productive et financière de la SNCF en France à celles de la DB en Allemagne. Rappelons qu'avant la réforme ferroviaire française de 2014, le système ferroviaire français était composé de deux principales compagnies à savoir la SNCF (opérateur de transport) et RFF (le gestionnaire de l'infrastructure). Entre ces deux compagnies, il existait une séparation virtuelle, puisque SNCF Infra assurait pour le compte du RFF la maintenance et l'entretien du réseau. En Allemagne, la DB (opérateur historique) était organisée sous forme de holding au sein duquel se trouvait DB Netz, le gestionnaire de l'infrastructure. L'analyse de la performance financière montre qu'il n'existe pas de différence significative entre la DB et la SNCF, par contre les indicateurs de performance productive montrent que la productivité de la DB est nettement plus élevée que celle de la SNCF (Crozet 2016).

La deuxième approche de l'analyse comparative des performances consiste en une comparaison d'indices de productivité totale de facteurs. Cette seconde approche à fait l'objet d'une série de travaux menés par Caves et al., 1980, (1981). Parmi les auteurs ayant utilisé cette approche pour évaluer les performances des compagnies ferroviaires, citons les travaux de Cantos et al., (1999) ; Cantos and Maudos, (2001) ; Cantos Sanchez and Maudos Villarroya, (2000) ; Caves et al., (1981) ; Cowie and Riddington, (1996) ; Oum et al., (1999) ; Oum and Yu, (1994) ; Pedro et al., (2012) ; Perelman, (1986). Ces études reposent pour l'essentiel sur l'estimation paramétrique, ou non paramétrique, d'une frontière de production. Le niveau d'efficacité technique ou la performance d'une compagnie est mesuré par sa position par rapport à la frontière. Plus une compagnie est proche ou se situe sur la frontière de production, plus elle est performante. Pour la plupart de ces études, le plus important est l'identification des facteurs qui influent sur l'efficacité technique.

Une troisième méthodologie dite des comptes de surplus, visant à mesurer les déplacements des frontières de prix et la répartition du surplus de productivité globale a également été déployée, en particulier en France [(Desmaris, 2010a, 2010b; Harmey and Hemat, 1985; Louis-André, 1971a)] et parfois pour l'étude des entreprises ferroviaires européennes [(Gathon and Perelman, 1989)].

Cette revue de la littérature non exhaustive atteste qu'avec des techniques différentes, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'analyse comparative des performances des chemins de fer.

Il y a 20 ans, la Commission européenne (UE, 1996) diffusait un diagnostic et des propositions visant à enrayer le déclin du chemin de fer et à promouvoir ce mode de transport comme pivot d'une politique européenne orientée vers la réalisation d'un grand marché et d'une mobilité durable. Un vaste programme réglementaire, toujours en cours, allait appuyer ce mouvement de réforme de la structure du marché ferroviaire. La directive 91-440, pionnière et fondatrice, donne la direction souhaitée et recommande notamment de promouvoir l'indépendance de gestion des entreprises ferroviaires (EF), ainsi que leur assainissement financier, en particulier leur désendettement.

Aujourd'hui, où en sommes-nous ? La politique ferroviaire de l'Union Européenne montre-t-elle des signes d'efficacité ? Dans quel pays ou pour quelle compagnie en particulier ? Dans quel domaine, opérationnel ou financier ? Comment expliquer ces gains de performance ? Quelles sont les résistances ?

Notre objectif ici est double, dresser un bilan de la situation actuelle et révéler la *trajectoire* d'entreprises ferroviaires européennes majeures sur la période 1990-2012, soit un peu avant et surtout après les réformes ferroviaires initiées par la Commission européenne. Pour ce faire, nous allons mener une analyse comparative des indicateurs de performance calculés pour un panel de 4 opérateurs historiques, que nous appellerons les quatre « majors », la DB en Allemagne, la SNCF en France, la RENFE en Espagne et les FS en Italie et observés entre 1990 et 2012.

Ce chapitre sera structuré comme suit. La première partie sera consacrée à la méthodologie utilisée. Il s'agit à ce stade de présenter la démarche de l'analyse comparative qui consiste à sélectionner les compagnies, à présenter et à comparer les indicateurs retenus. L'analyse et l'interprétation des résultats se feront dans la seconde section.

1.1. Analyse comparée des performances des chemins de fer : une approche théorique

1.1.1. Définition des concepts

a. La performance

La notion de performance d'une entreprise soulève des questionnements tout en générant des définitions diverses. La conception de la performance ayant évolué avec le temps, nous dirons en première analyse qu'elle est fondée sur le rapport valeur/coût que l'entreprise tend à optimiser. La performance d'une entreprise s'articule autour de ce qui contribue à améliorer le couple valeur/coût et qui tend ainsi vers la maximisation de la création nette de valeur. Ainsi plusieurs critères nous permettent d'identifier les entreprises performantes. Une entreprise performante est celle qui :

- est pérenne, qui gagne de l'argent en étant durablement profitable,
- défie ses concurrents en termes de qualité et de rapidité de service,
- est innovante, efficiente, réactive dans la durée,
- crée de la valeur tout en répondant aux exigences du marché.

b. Qu'est-ce que l'analyse comparative ?

L'analyse comparative est un processus qui permet de comparer les résultats d'une entité (chemin de fer sujet) avec ceux d'autres entités (chemin de fer à comparer), afin d'identifier les meilleures pratiques et les opportunités d'amélioration. L'évaluation comparative est une pratique ancienne, mais ce n'est qu'à la fin des années 1980 qu'elle s'est transformée en outil régulièrement utilisé par certaines entreprises. Le concept d'évaluation comparative fut formalisé en 1989 par Robert Camp dans un livre intitulé "*Le Benchmarking : pour atteindre l'excellence et dépasser vos concurrents*". La définition énoncée par Robert Camp est la suivante : "Le *benchmarking* est la recherche des méthodes les plus performantes pour une activité donnée, permettant de s'assurer une supériorité". En d'autres termes, le *benchmarking* se définit comme une démarche de comparaison d'un processus (entreprise) avec les entreprises reconnues comme les meilleures dans ce domaine.

1.1.2. Choix des compagnies à comparer

Afin d'identifier les meilleures pratiques et de contrôler les facteurs que la gestion ou le gouvernement ne peuvent influencer, l'analyse comparative doit être effectuée sur des

entreprises ferroviaires de caractéristiques et conditions d'exploitation similaires. Plusieurs critères peuvent être retenus : la taille de l'entreprise, le volume et le type de trafic, la densité du trafic, la nature du trafic et enfin la longueur du réseau. Nous avons retenu comme critère de sélection la longueur du réseau et la disponibilité des données.

Suivant le premier critère, les pays potentiels sont : l'Allemagne (33 505 km), la France (30 013 km), la Pologne (19 617), l'Italie (16 742 km), la Royaume-Uni (16 172 km) et l'Espagne (15 664 km). Suivant le second critère, celui de la disponibilité des données sur toute la période de l'étude, notre échantillon se ramène à quatre pays à savoir : l'Allemagne (33 505 km), la France (30 013 km), l'Italie (16 742 km), et l'Espagne (15 664 km).

Les principales compagnies ferroviaires de ces pays sont respectivement la Deutsche Bahn (DB), la Société nationale des chemins de fer français (SNCF), Ferrovie dello Stato (FS) et le Réseau national des chemins de fer espagnols (RENFE). Le principal avantage de cet échantillon est sa diversité en termes de modèle d'organisation des systèmes ferroviaires. En d'autres mots, l'organisation des chemins de fer varie d'un pays à un autre bien que cette organisation soit régulée par les mêmes directives européennes.

En Allemagne, la Deutsche Bahn a été créée le 1er janvier 1994 à la suite d'une fusion entre la Deutsche Bundesbahn et la Deutsche Reichsbahn. La Deutsche Bahn (DB) est une société anonyme dont le capital est détenu à 100% par l'État fédéral allemand. Elle est constituée d'une holding chapeautant les principales activités du groupe. En tant que compagnie intégrée, la DB exerce à la fois les métiers d'exploitant (voyageurs et marchandises) et celui de gestionnaire d'infrastructures ferroviaires. L'Allemagne est l'un des pays les plus avancés en matière de libéralisation ferroviaire. Le libre accès au marché est inscrit dans la loi depuis 1994 et les opérateurs ferroviaires privés peuvent opérer non seulement sur les lignes de fret mais aussi sur les lignes de transport de voyageurs à l'échelle régionale ou nationale. Suite aux exigences du premier et du second paquet ferroviaire, le service du fret international allemand est ouvert à la concurrence depuis 2006, tandis que depuis 2007, c'est l'ensemble des services du fret qui est ouvert à la concurrence. L'ouverture à la concurrence du transport régional de voyageurs a été décidée en 1994.

En France, la SNCF est l'entreprise ferroviaire publique française, créée le 1er janvier 1938. Elle est présente dans le domaine du transport de voyageurs, du transport des marchandises et réalise la gestion, l'exploitation et la maintenance du réseau ferré national dont elle est propriétaire. Le système ferroviaire français a connu de profondes mutations depuis 1997 avec notamment la création du Réseau Ferré de France (RFF). La naissance de RFF concrétisait la séparation entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'opérateur

ferroviaire telle que voulue par le premier paquet ferroviaire. La SNCF est l'entreprise ferroviaire publique en charge de l'exploitation des activités ferroviaires et dont le capital est à 100 % détenu par l'État français. Le RFF était jusqu'en 2014 chargé de construire et d'entretenir le réseau ferré, percevant en contrepartie des péages pour son utilisation. En pratique, la maintenance et l'exploitation du réseau ferré étaient confiées par la loi à l'opérateur historique à travers un mécanisme appelé gestion de l'infrastructure déléguée (GID). En d'autres mots, depuis 1997, SNCF Infra (branche du groupe SNCF) assurait pour le compte du RFF la maintenance et l'exploitation de l'infrastructure. Depuis le 1er janvier 2015, le système ferroviaire français a été réorganisé. Il est constitué de 3 établissements publics à caractère industriel et commercial (EPIC), la SNCF qui constitue la holding, SNCF Réseau et SNCF Mobilités. En France, si le service de fret est ouvert à la concurrence, le transport ferroviaire national de voyageurs reste encore un monopole pour la SNCF. Même si d'importantes réformes ferroviaires ont été menées en France, le monopole est une réalité prégnante.

L'Italie fait partie des pays qui ont essayé de transposer les directives européennes au niveau local. Jusqu'en 2001, le transport ferroviaire italien était sous la responsabilité du monopole de l'opérateur historique Ferrovie dello Stato (FS). En réponse aux directives 91/440/EEC relatives aux développements communautaires des chemins de fer, l'Italie a opté pour une organisation sous forme de holding. L'opérateur historique Ferrovie dello Stato (FS) a été séparé en deux compagnies distinctes : le gestionnaire de l'infrastructure Rete Ferroviaria Italiana (RFI) et l'exploitant des services de transports (Trenitalia). Ces deux compagnies étant (comme en France et en Allemagne) la propriété de l'entreprise publique historique Ferrovie dello Stato. En Italie si le marché du fret est complètement libéralisé depuis 2000, celui de transport ferroviaire de voyageurs a été mis en place essentiellement dans le domaine de la grande vitesse ferroviaire, un cas unique en Europe, avec le développement de la compagnie NTV.

Le cas de l'Espagne est particulier avec son réseau historique à écartement des voies différent de la norme UIC. Entre janvier 1941 (date de création de la RENFE) et décembre 2004, l'ensemble des activités du transport ferroviaire espagnol était sous la responsabilité du monopole de la RENFE, l'entreprise ferroviaire publique. Comme dans les trois précédents pays, le système ferroviaire espagnol a connu de profondes mutations avec notamment la création, en janvier 2005, de l'administrateur des infrastructures ferroviaires (ADIF). Depuis 2005, l'infrastructure ferroviaire est gérée par l'entreprise publique ADIF et séparée de l'opérateur historique national RENFE. L'ouverture théorique à la concurrence a

été décidée à partir de 2003. En pratique, l'ouverture du marché a porté sur le fret et est restée très limitée même si les compagnies ferroviaires possédant une licence Européenne bénéficient officiellement d'un accès non restreint au marché ferroviaire espagnol.

1.1.3. Choix des indicateurs.

L'analyse comparative s'appuie principalement sur l'évaluation et la mesure des principaux résultats d'une entreprise par rapport aux résultats comparables d'autres entreprises de référence, et sur le repérage des mesures susceptibles de faire une différence sur le plan des rendements. Elle est perçue comme un moyen de faciliter les comparaisons entre les entreprises , dans le temps, et au sein d'une même entreprise (Transport, 2000, p. 131).

Pour mener à bien une analyse comparative, il est important de définir au préalable les indicateurs qui seront utilisés dans le processus de comparaison. Le choix de ces indicateurs dépend de l'objectif de la comparaison. Par exemple, si la comparaison vise une révision générale de l'exploitation, le processus commencera par la comparaison des indicateurs financiers suivie d'une comparaison de la productivité de chaque ressource principale du chemin de fer (main-d'œuvre, voies, locomotives, wagons et voitures).

Comme dans l'étude de Nash et Preston (1994) les indicateurs retenus pour cette étude seront regroupés en trois catégories, les indicateurs de performance économique et commerciale, les indicateurs de performance productive et les indicateurs de performance financière.

1.1.3.1. Les indicateurs de performance économique

Pour une compagnie de chemin de fer, l'analyse des indicateurs de performance économique et commerciale, permet de déterminer les activités les plus rentables qui participent à sa croissance interne. Elle est centrée sur l'analyse de la structure des recettes et sur l'analyse de la structure des coûts.

1.1.3.1.1. La structure des recettes

Les éléments importants à prendre en compte dans le calcul des recettes sont : le trafic, la tarification et les subventions.

a. Le trafic.

Trois étapes sont indispensables pour analyser le trafic ferroviaire. Dans une première étape, il faut identifier les clients et les principaux produits. Par exemple pour l'activité transport de voyageurs, les segments de produits pourraient être les navettes, le transport régional, le transport interurbain et le transport à grande vitesse. Pour l'activité fret, les segments de produits pourraient être le charbon, le grain, ou l'intermodal. Dans une deuxième étape, il faut évaluer les parts de marché des principaux segments ferroviaires, l'état de la concurrence. Dans une troisième étape, il faut comparer le trafic ferroviaire aux autres modes de transport. Le but est de voir si le transport ferroviaire peut faire concurrence aux autres modes. Le trafic ferroviaire est donc un composant important de la structure des recettes, puisque les chemins de fer ont des coûts fixes élevés.

Comme indicateurs de trafic nous avons retenu, le nombre de voyageurs-km et le nombre de tonnes-km. Leur croissance, notamment grâce à une amélioration de la qualité de service, pourrait accroître la viabilité financière des chemins de fer.

b. La tarification.

Les principaux déterminants de la tarification des activités ferroviaires sont : les coûts, la concurrence et la régulation. Pour le chemin de fer, les prix doivent couvrir les coûts, mais les recettes peuvent être limitées par le régulateur et aussi par le marché. Ainsi la détermination du prix des services ferroviaires doit prendre en compte simultanément ces trois facteurs.

Dans un environnement compétitif, le chemin de fer doit fixer ses prix assez bas pour retenir les clients et rester compétitif, mais ces prix doivent être assez élevés pour maximiser les recettes. Pour avoir une politique tarifaire optimale, le chemin de fer doit connaître l'élasticité de la demande pour définir si une baisse de prix fera augmenter suffisamment le volume de trafic pour déboucher sur une augmentation des recettes. Dans le même ordre d'idées, pour rester compétitif sur un marché, le chemin de fer doit aussi calculer avec exactitude ses coûts variables.

c. Les subventions.

Troisième composant de la structure des recettes, les subventions en direction des chemins de fer proviennent essentiellement de l'État et des collectivités territoriales comme c'est le cas dans la plupart des pays européens. En effet l'État et les collectivités territoriales compensent les chemins de fer pour les services socialement importants et non rentables.

L'analyse des recettes devrait donc inclure cette importante source de revenus, sa structure de paiement et tous les risques associés.

Les ratios généralement utilisés pour analyser les recettes des chemins de fer sont les suivants :

- ***Le ratio revenu/unité de trafic*.** Il mesure la capacité à générer les revenus. Il peut être calculé selon l'activité. Pour l'activité fret, ce ratio est appelé recette moyenne par tonnes-km, il est égal au rapport entre le revenu de l'activité fret et le nombre de tonnes-km. Pour l'activité transport de voyageurs, ce ratio est appelé recette moyenne par voyageurs-km. Il est égal au rapport entre le revenu de l'activité voyageur et le nombre de voyageurs-km. Comme on l'a mentionné dans les paragraphes précédents, ces indicateurs sont sensibles à la concurrence, à la distance parcourue et à la qualité des services.
- ***Le ratio subvention / unité du trafic.*** Il mesure le soutien de l'État et des collectivités territoriales à l'exploitation et aux investissements des chemins de fer. Le transport régional de voyageurs étant en général le segment qui reçoit les subventions, le ratio peut être exprimé en termes de subvention moyenne par voyageur.
- ***Le ratio prix de passagers / prix du fret.*** C'est une mesure générale du degré de dépendance de la structure des revenus des chemins de fer aux revenus du fret pour couvrir les coûts fixes et/ou pour évaluer l'impact des subventions des services de voyageurs.

1.1.3.1.2. La structure des coûts

Selon la comptabilité de gestion ou la comptabilité analytique, la structure des coûts désigne l'ensemble des charges supportées par une entreprise pour l'acquisition des biens immobiliers ou mobiliers, ou pour des prestations diverses. Toutes ces charges entrent dans les frais de production de la société.

Pour l'activité transport ferroviaire, les principaux composants de la structure des coûts sont : la main-d'œuvre, l'énergie, le matériel, les services, la location et la dépréciation (amortissements). Il s'agit donc de l'ensemble des frais récurrents associés à la production des services.

- La main-d'œuvre. Elle est essentiellement constituée du personnel des chemins de fer. Les charges liées à la main-d'œuvre sont les salaires, les retraites et autres prestations telle que l'assurance maladie.
- L'énergie. Elle est constituée de l'électricité et du coût du carburant diesel.

– Matériel, les charges associées sont les coûts de voies tels que rails, traverses et ballast, pièces détachées et autres fournitures pour l'exploitation et l'entretien.

Les ratios généralement utilisés pour évaluer la structure des coûts sont :

– ***La part du coût de la main-d'œuvre dans le coût total d'exploitation.***
Par définition, la part de la main-d'œuvre dans le coût total d'exploitation est déterminée par le rapport entre les frais de personnel et le coût total d'exploitation. L'enjeu est donc de déterminer le poids du personnel dans le coût d'exploitation. Dans le cas d'une inflation des coûts, ce ratio nous permet de déterminer la source de l'inflation (interne ou externe).

– ***La part du coût des consommations et charges externes dans le coût total d'exploitation.*** Il s'agit du rapport entre le coût des consommations et charges externes et le coût total d'exploitation**.** Ce ratio détermine le poids des consommations et charges externes dans le coût total d'exploitation. Si la part des frais du personnel dans le coût total d'exploitation est supérieure à la part du coût des consommations et charges externes dans le coût total d'exploitation, on parlera d'une inflation interne. Dans le cas contraire, on dira que l'inflation est externe ou importée.

– ***Ratio frais d'exploitation/unité du trafic.*** C'est le rapport entre les dépenses d'exploitation et l'unité du trafic. Ce ratio peut donc être interprété comme le coût moyen de production. Si l'unité de trafic est le nombre de trains km, alors ce ratio sera appelé le coût moyen d'un train km. Le trafic peut également être évalué en nombre de tonnes-km et en nombre de voyageurs-km.

1.1.3.2. Les indicateurs de performance commerciale

Trois indicateurs sont utilisés pour évaluer la performance commerciale :

- ***Le nombre de voyageurs par train***. Il est déterminé par le nombre de voyageurs-km rapporté au nombre de trains km de voyageurs. C'est un indicateur d'utilisation de la capacité disponible.
- ***Le nombre de tonnes par train***. De même il s'agit du rapport entre le nombre de tonnes-km et le nombre de trains km de marchandises.
- ***La part de marché.*** Elle compare la production du transport ferroviaire par rapport aux autres modes de transport terrestres. Pour l'activité transport de voyageurs, elle est égale au nombre de voyageurs-km en train rapporté au nombre total de voyageurs-km. Les modes de transport de voyageurs pris en compte sont : le train, la voiture particulière, les autocars, autobus et trolley bus. Pour l'activité transport de marchandises, les autres

modes de transport pris en compte sont : la route et les voies navigables intérieures. Elle est donc égale au nombre de tonnes-km des chemins de fer rapporté au nombre total de tonnes-km. De façon générale, la part de marché est un indicateur souvent utilisé pour juger de l'efficience de la gestion et les conditions de concurrence auxquelles est confrontée la compagnie ferroviaire. C'est un indicateur qui peut être influencé par de fortes subventions publiques et/ou des régimes tarifaires spéciaux qui créent un scénario de part de marché peu réaliste (Nash et Preston, 1994).

1.1.3.3. Les indicateurs de performance productive

La productivité peut être définie comme le rapport entre le volume de production et le volume des moyens nécessaires à sa réalisation, c'est-à-dire les quantités de facteurs de production utilisés. Elle permet de mesurer la contribution d'un ou plusieurs facteurs de production à la variation du résultat final. Les indicateurs de performance productive visent donc à rendre compte de l'utilisation des moyens essentiels : personnel, véhicules et infrastructures.

Pour mieux évaluer la productivité des chemins de fer, il convient de définir la production et les facteurs de production. La production des chemins de fer peut être évaluée par plusieurs indicateurs : le nombre de trains km (qui peut être calculé selon l'activité considérée, fret , voyageurs, ou encore la somme de ces deux activités) et la somme de voyageurs-km d'une part et des tonnes-km.

Le nombre de trains km a un caractère général et traduit l'offre globale. Le second indicateur quant à lui reflète le niveau de consommation, il tient compte de la qualité du service et permet d'évaluer le revenu de l'entreprise.

Les facteurs de production généralement utilisés sont : la longueur des voies (on peut distinguer les voies électrifiées et les autres), la longueur des lignes, la main-d'œuvre (nombre d'employés), le matériel moteur (locomotives, rames automotrices, automoteurs) et le matériel roulant (voitures et wagons).

Comme indicateur de productivité on peut distinguer :

- **La productivité des locomotives :** rapport entre le volume de production et le nombre de locomotives. Les locomotives représentent un investissement coûteux pour l'entreprise. Une utilisation intensive des locomotives pourrait donc donner au chemin de fer un avantage pour atteindre la viabilité financière.
- **Productivité des wagons :** rapport entre le nombre de tonnes-km et le nombre de wagons.

- **La productivité des voitures :** ce ratio mesure le volume de trafic de voyageurs réalisé avec le parc de voiture.

Le parc du matériel roulant représente pour une compagnie un avoir très coûteux. Une utilisation intensive est nécessaire pour accroître l'efficacité et la viabilité financière.

- **Productivité apparente physique :** elle mesure le volume de trafic produit par la main-d'œuvre. C'est le rapport entre le niveau de production et l'effectif total de l'entité.

1.1.3.4. Les indicateurs de performance financière

Les indicateurs de performance financière cherchent à mettre en avant la rentabilité de l'investissement. Le calcul de ces indicateurs est rendu possible grâce aux informations contenues dans les documents comptables de chaque compagnie. Les ratios retenus sont :

- **Le ratio d'exploitation**. Il s'agit du rapport entre les frais d'exploitation et les revenus d'exploitation. Ce ratio mesure la capacité des chemins de fer à couvrir leurs coûts et à générer des fonds pour l'investissement. Il peut être calculé avec ou sans le montant des subventions. Un ratio d'exploitation supérieur à 1 indique ainsi l'incapacité des chemins de fer à couvrir leurs coûts.
- **Taux d'endettement.** Il est égal au montant de la dette rapporté aux capitaux propres. Ce ratio cherche à établir dans quelle proportion les dettes contractées par l'entreprise dépassent les fonds propres. Il peut également être interprété comme un ratio d'autonomie financière puisqu'il mesure le niveau de la dette que supporte l'entreprise par rapport à ses fonds propres.
- **Ratio d'indépendance financière** : Encore appelé ratio d'autonomie financière, il permet de mesurer le degré d'endettement de l'entreprise par rapport à ses fonds propres. Par définition, le ratio d'indépendance est égal aux capitaux propres rapportés au capital total. En règle générale, une entreprise est dite autonome lorsque plus de la moitié de ses ressources provient de ses fonds propres, soit un ratio supérieur à 50 % (0,5).

1.2. Analyse comparée des performances des chemins de fer : un calcul formel des indicateurs

1.2.1. Données

La disponibilité des données, est un problème majeur auquel font face tous les chercheurs et les professionnels qui s'intéressent à l'analyse comparative des performances des chemins de fer. À l'heure actuelle, les sources les plus exploitées sont les rapports annuels des compagnies et la statistique internationale des chemins de fer de l'UIC. Bien que les statistiques produites par l'UIC soient largement critiquées pour leur manque de fiabilité, elles restent l'unique source qui fournit les informations détaillées sur les performances des compagnies ferroviaires.

On compte parmi les autres sources d'information, les statistiques nationales des transports, Eurostat et le World Wide Web, qui contient de plus en plus de données provenant de sources officielles et non officielles.

Pour notre étude, les données proviennent des rapports publiés par l'UIC, celles-ci sont complétées et corrigées par des données provenant des rapports annuels publiés par les compagnies de notre échantillon.

Rappelons que pour cette étude, nous avons à notre disposition un panel de quatre compagnies, la DB en Allemagne, la SNCF en France, la RENFE en Espagne et les FS en Italie, observées entre 1990 et 2012. Ces compagnies ont été choisies selon deux critères : la taille du réseau et la disponibilité des données sur la période étudiée.

1.2.2. Les indicateurs de performance économique

Les indicateurs de performance économique et commerciale ont pour objectif de mesurer les revenus générés par chaque activité. C'est l'une des raisons pour lesquelles l'analyse de ces indicateurs débutera par la présentation des indicateurs de trafic. Rappelons que ces indicateurs représentent le niveau réel de consommation. Par conséquent ils déterminent les recettes de la compagnie.

1.2.2.1. Les indicateurs de la structure des recettes.

Ne disposant pas des informations sur le montant des subventions, l'analyse des recettes sera centrée sur les recettes issues du trafic. Les indicateurs retenus sont : la recette

moyenne par tonnes-km, la recette moyenne par voyageurs-km, la recette moyenne par train km et enfin la recette par unité trafic (voyageurs-km + tonnes-km).

a. La recette moyenne par voyageurs-km.

Par définition la recette moyenne par voyageurs-km est égale au revenu total généré par l'activité transport de voyageur rapporté au nombre de voyageurs-km. Les résultats de ces calculs sont résumés dans la figure 1-1. Il est important de noter que, l'absence de données sur le revenu pour l'ensemble de l'échantillon entre 1999 et 2004 nous amène à analyser cet indicateur sur deux périodes : 1990-1997 et 2005-2012.

Les résultats du test de comparaison des populations de Kruskal-Wallis, montrent qu'au seuil de 5 %, la recette moyenne par voyageurs-km varie d'une compagnie à une autre (voir tableau 1-1), par contre pour l'ensemble de l'échantillon, elle est stable d'une année à une autre (voir annexe 1-20).

Tableau 1-1 : **Résultat du test de comparaison des populations de Kruskal-Wallis**

ID	Obs	Somme des rangs
DBAG	8	210
FS	8	94
RENFE	7	29
SNCF	7	132
Chi-deux = 26.049 Probabilité = 0.0001		

Ce dernier résultat est identique à celui trouvé par Nash et Shires (1993). Parue dans le rapport de la conférence des ministres de l'union européenne, la présentation de Nash et Shires sur l'analyse comparative des chemins de fer montre que les prix pratiqués par les chemins de fer entre 1989 et 1994 étaient relativement constants d'une année à une autre.

Les caractéristiques de tendance centrale montrent qu'entre 1990 et 1997, la recette moyenne par voyageurs-km est estimée à 10 centimes € pour la DB, 6 centimes € pour FS, 4 centimes € pour la RENFE et enfin 7 centimes € pour la SNCF. Par contre entre 2004 et 2012, cette moyenne est estimée à 18 centimes € pour la DB, 11 centimes € pour FS, 7 centimes € pour la RENFE et enfin 14 centimes € pour la SNCF.

L'évolution de cette variable (voir figure 1-1 et annexe 1-5) nous permet de distinguer deux séquences. La première qui va de 1990 à 1993 est marquée par une baisse significative de ce ratio pour l'ensemble des compagnies. Cette baisse est estimée à 33 % pour la DB, 10 % pour la FS, 10 % pour la RENFE et enfin 7 % pour la SNCF. Par contre, la séquence 1993-

2012 est marquée par un mouvement contraire c'est-à-dire par une croissance continue de cet indicateur.

En général, les résultats montrent une croissance assez significative pour l'ensemble. Ainsi entre 1990 et 2012 on estime à +82 % le taux de croissance de la recette moyenne par voyageur km pour la DB. Pour le reste de l'échantillon, cette croissance est estimée à +156 % pour FS, +94 % pour la RENFE et enfin + 119 % pour la SNCF.

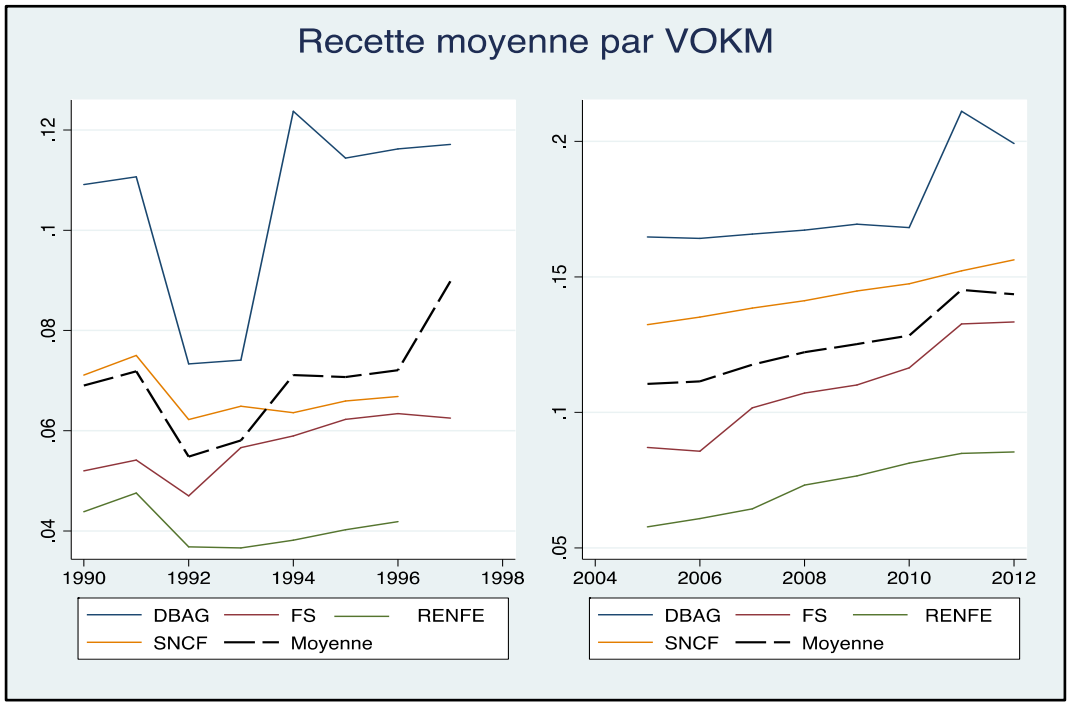


Figure 1-1 : **Évolution de la recette moyenne par voyageurs-km**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

b. La recette moyenne par tonne km.

L'analyse globale montre que la recette moyenne par tonnes-km pour l'ensemble de l'échantillon est globalement décroissante entre 1990 et 1996 (- 62 %) puis elle croît entre 1997 et 2008 (environ + 24 %) pour enfin décroître entre 2008 et 2012 (voir figure 1-2, courbe en traits interrompus). Ce résultat montre que la croissance de l'activité ferroviaire peut être fortement influencée par des chocs externes.

À l'échelle individuelle, les données montrent qu'entre 1990 et 1997, la recette moyenne par tonnes-km est estimée à 6 centimes € pour la DB, 4 centimes € pour les FS, 3 centimes € pour la RENFE et enfin 5 centimes € pour la SNCF. Par contre entre 2004 et 2012, cette moyenne est estimée à 4,5 centimes € pour la DB, 4,9 centimes € pour le FS, 3 centimes € pour la RENFE et enfin 4,4 centimes € pour la SNCF.

La recette moyenne par tonnes-km baisse entre 1990 et 1997 pour toutes ces compagnies. On note une baisse de -27 % pour la DB, -27 % pour FS, -17 % pour la RENFE et -29 % pour la SNCF. Malgré cette baisse enregistrée, la DB reste la compagnie dont la recette moyenne par tonne kilomètre est la plus élevée. Elle est suivie par la SNCF, FS et enfin la RENFE. Ce classement peut être justifié par les résultats du test de comparaison de Kruskal-Wallis (voir tableau 1-2) qui montrent que la recette moyenne par tonnes-km varie d'une compagnie à une autre.

Par contre entre 2004 et 2012, on observe une croissance continue de cet indicateur pour la DB et pour la SNCF. Notons que pour la SNCF, ce mouvement continu est fortement influencé par la crise de 2008. Malgré cette croissance, ces deux compagnies n'ont pas pu atteindre la recette moyenne réalisée en 1990. Pour FS et la RENFE, cet indicateur évolue à la hausse entre 2004 et 2008, puis il décroît entre 2008 et 2012. Cette baisse peut donc en partie être attribuée à la crise de 2008 (voir annexe 1-19).

Entre 1990 et 2012, la DB a enregistré une baisse de 18 % de sa recette moyenne, pour la SNCF cette baisse est estimée à 36 %. Enfin pour la RENFE et FS, cette baisse est estimée respectivement à 16 % et 0,5 %.

Tableau 1-2 **Résultat du test de comparaison des populations de Kruskal-Wallis (recette moyenne par tonnes-km)**

ID	Obs	Somme des rangs
DBAG	8	207
FS	8	93
RENFE	7	32
SNCF	7	133
Chi-deux= 24,555 Probabilité = 0,0001		

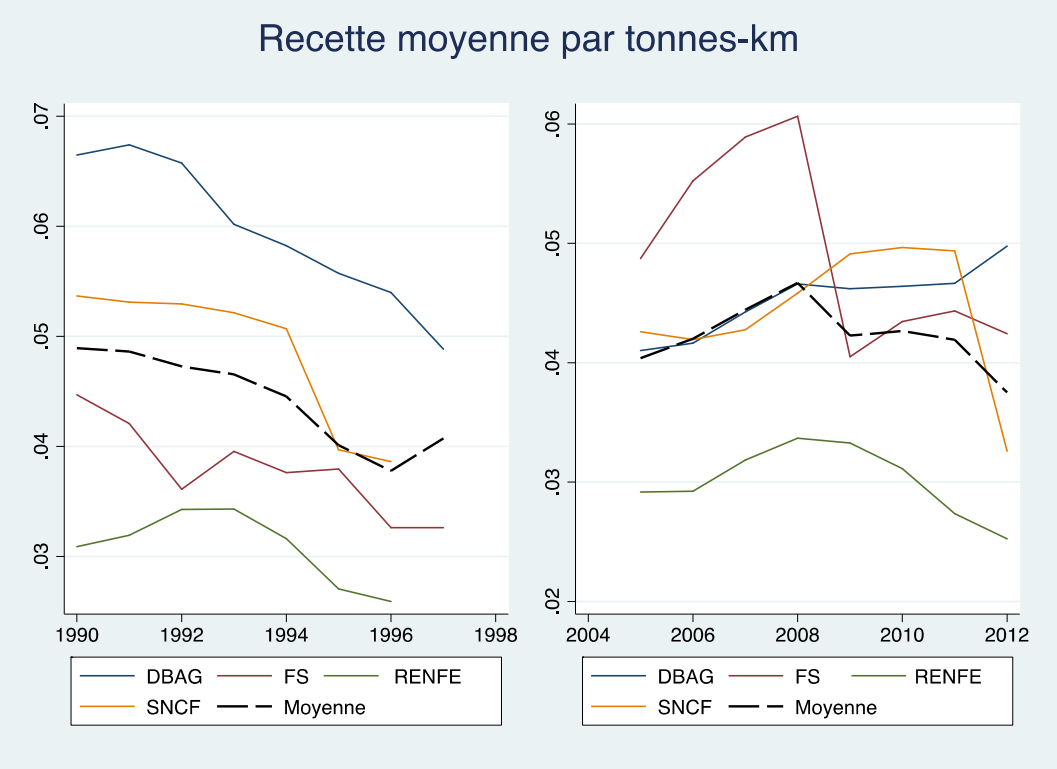


Figure 1-2 : **Évolution de la recette moyenne par tonne km**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

c. Produit par unité de production

C'est un indicateur qui mesure la capacité des chemins de fer à générer les revenus pour l'ensemble du trafic. Nous avons distingué le produit par train km et le produit par unité de trafic (voyageurs-km + tonnes-km). Le résumé de ces calculs est présenté dans les figures 1-3 et 1-4.

L'analyse globale montre que l'évolution du produit par unité de production est la même quelle que soit l'unité de mesure considérée (voir courbe en traits interrompus dans les figures 1-3 et 1-4. On constate que le produit moyen par unité de production suit un trend à la hausse entre 1990 et 2012, même s'il connaît un léger recul entre 1990 et 1996. En général, le produit par unité de trafic connaît une amélioration significative de + 3,4 % par an.

À l'échelle nationale, l'analyse descriptive montre que le produit moyen par unité de trafic est estimé à 17 centimes d'euro pour la DB, 13 centimes pour FS, 11 centimes pour la RENFE et enfin 13 centimes pour la SNCF. Dans le même ordre d'idées, le produit moyen par train km est estimé à 30,90 € pour la DB, 28,50 €, 18,70 € pour la RENFE et enfin 31,70 € pour la SNCF.

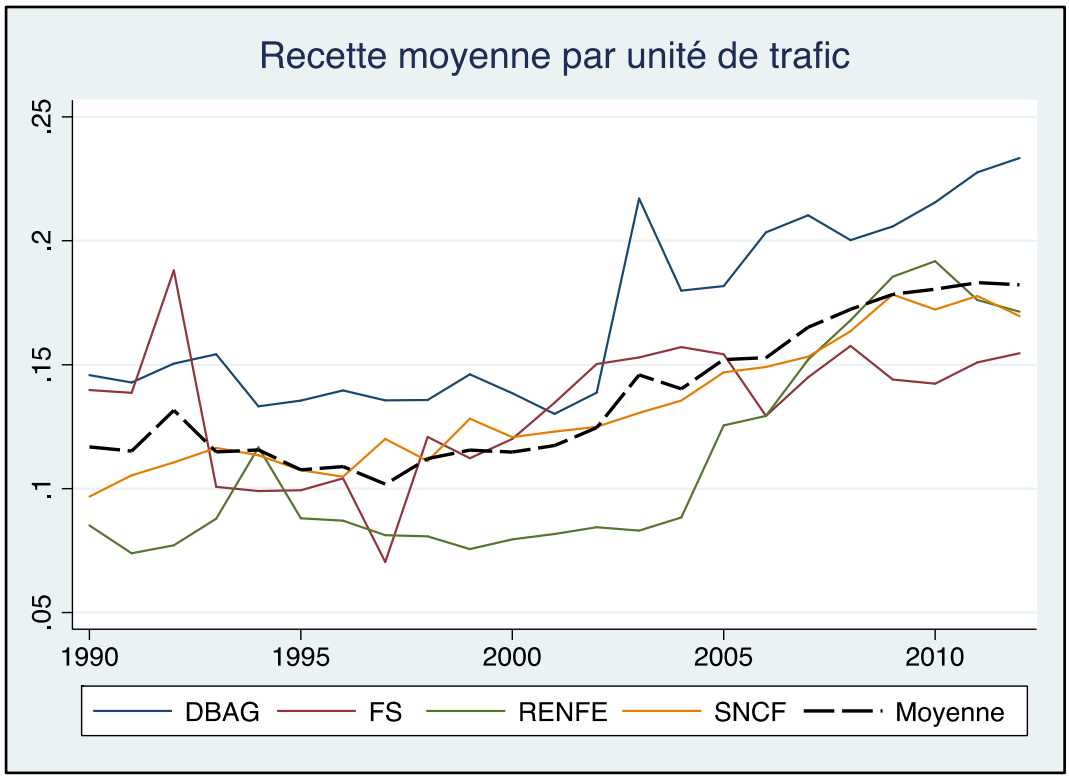


Figure 1-3 : **Évolution de la recette moyenne par unité de trafic**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

La figure 1-3 montre que pour la SNCF et la RENFE, le produit par unité de production est globalement croissant entre 1990 et 2012 (+ 90% pour la SNCF et 104 % pour la RENFE), mais cette évolution est légèrement freinée par la crise de 2008. Par contre pour la DB, cet indicateur connaît un léger recul entre 1990 et 2000 (-12 %) puis il évolue à la hausse entre 2000 et 2012 (+ 80 %). Enfin pour le FS cet indicateur décroît fortement entre 1990 et 1996 (- 47 %) puis il croît entre 1996 et 2012. Les résultats sont les mêmes si l'on s'intéresse à l'évolution du produit moyen par train km (voir figure 1-4).

1.2.2.2. Indicateurs de la structure des coûts

Les indicateurs de l'analyse de la structure des coûts sont : le coût du personnel (en % du coût total), le coût des consommations et des matières premières (en % du coût total), le salaire annuel moyen par employé, le coût total par train km et le coût par unité de trafic.

a. L'évolution du poids des charges du personnel dans le coût total.

Rappelons que les frais du personnel sont constitués des salaires et des charges sociales. La figure 1-5 (voir également annexe 1-6) exprime une tendance forte de réduction de la part des charges du personnel dans le coût total d'exploitation sur la période 1990-2012

(passant de 50 % à 39 % en moyenne). Plus précisément, la part des charges du personnel pour l'ensemble des quatre compagnies évolue à la baisse entre 1991 et 1998, puis se stabilise entre 2004 et 2012 (voir ligne en traits interrompus figure 1-5).

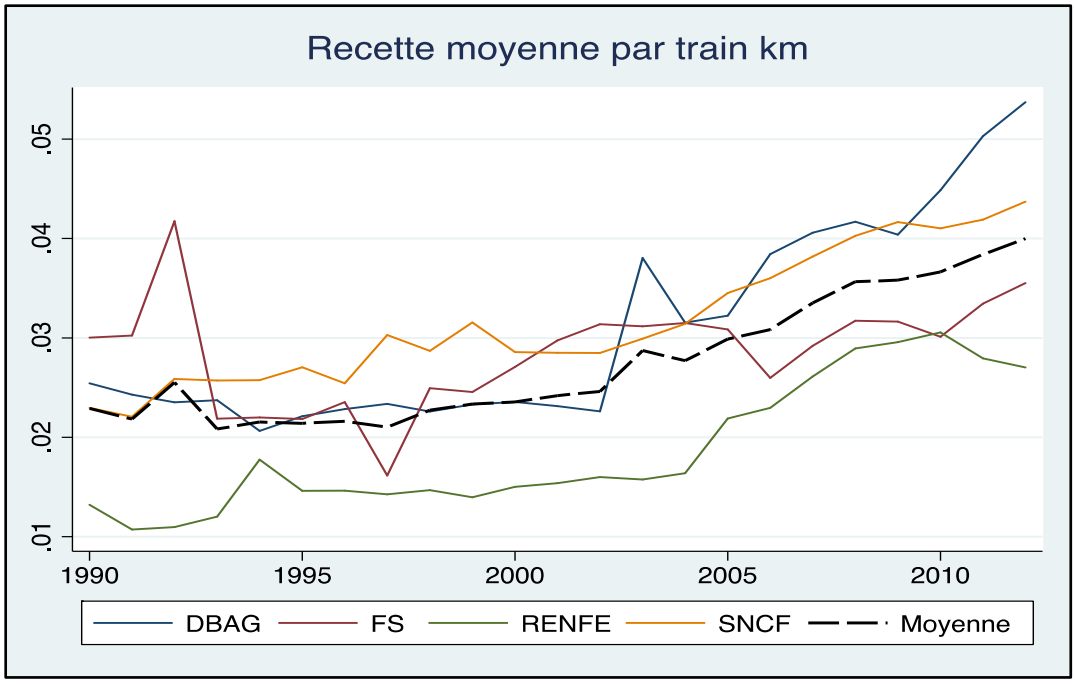


Figure 1-4 : **Évolution de la recette moyenne par train km**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

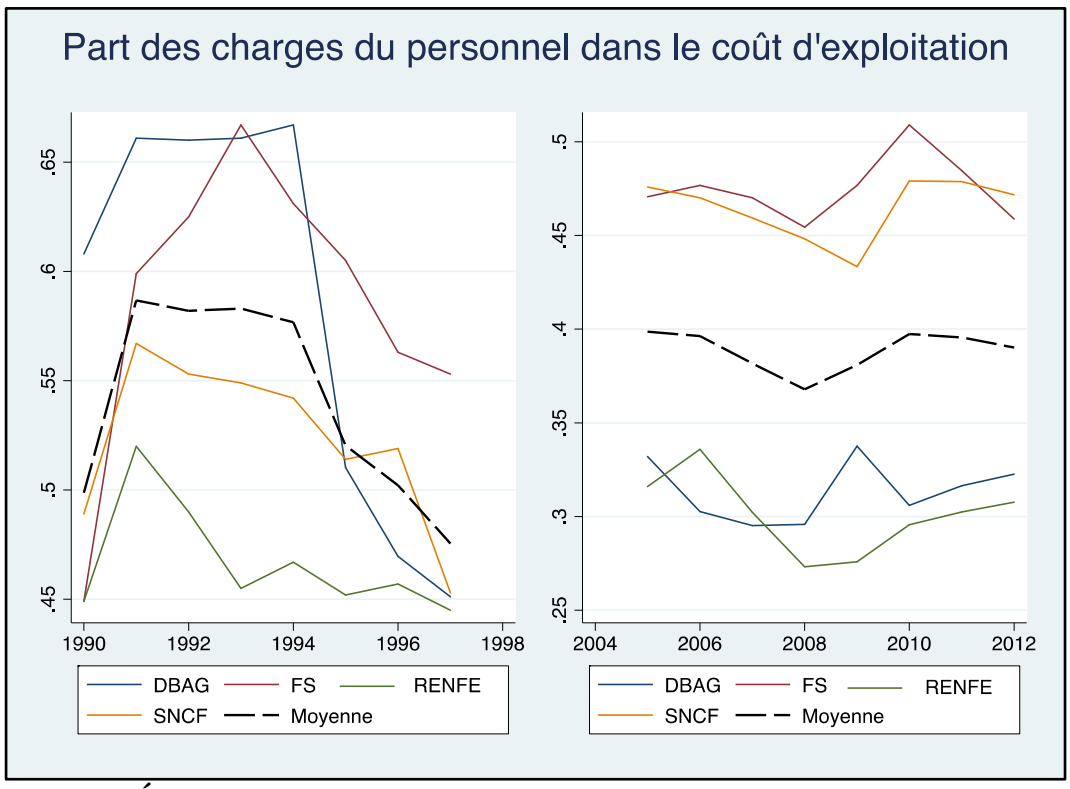


Figure 1-5 : **Évolution de part des charges du personnel dans le coût d'exploitation**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

Entre 1990 et 1997, les charges de personnel représentaient en moyenne 58.9 % du coût total d'exploitation de la DB, 58.6 % pour les FS, 52.3 % pour la SNCF et enfin 46.7 % pour la RENFE. Ce résultat montre que sur cette période, le personnel représentait la principale source de dépense pour les compagnies. Par contre entre 2004 et 2012, les moyennes enregistrées sont les suivantes : 31 % pour la DB, 47 % pour les FS, 30 % pour la RENFE et enfin 46 % pour la SNCF. Entre 1990 et 2012, les compagnies ferroviaires ont donc réduit significativement la part des charges de personnel dans le coût total d'exploitation. Cette baisse a principalement eu lieu entre 1994 et 1996 pour la DB, entre 1991 et 1996 pour la SNCF et pour la RENFE enfin entre 1993 et 1996 pour les FS. Par contre entre 2004 et 2012, ce ratio est relativement stable pour toutes les compagnies. En valeur relative, entre 2004 et 2012, les FS et la SNCF sont les compagnies dont la part des charges du personnel représente un pourcentage élevé (entre 45 % et 50 %). Pour la RENFE et la DB, ce ratio est faible puisqu'il varie entre 30 % et 35 %. Pour ces deux compagnies on peut penser à une logique d'externalisation des coûts moins pratiquée par la SNCF et les FS.

b. Évolution de la part des consommations et charges externes.

La rubrique consommation et charges externes englobe tout achat de marchandises utilisées comme éléments du processus de production. Sont exclus de cette rubrique les achats de matières premières et consommables destinés à la revente. La rubrique charges externes englobe les coûts d'externalisation, les frais de location de biens fonciers ou de matériel, le coût de fournitures qui ne sont pas destinées aux stocks, travaux d'entretien et de réparation, primes d'assurance, coûts d'études et de recherche, frais de personnel externe, commissions à verser à des intermédiaires et frais professionnels, dépenses publicitaires, frais de transport, de déplacement, frais de réunion et de représentation, frais postaux, bancaires.

Par définition le poids des consommations et charges externes est donné par le rapport du coût des consommations et charges externes sur le coût total d'exploitation. Les résultats sont présentés dans la figure 1-6 et dans l'annexe 1-7.

Entre 1990 et 1997, la part des coûts des consommations et charges externes augmente, mais en niveau cette part reste modeste, comprise entre 25 % et 31 %. Par contre, entre 2004 et 2012, cette part se stabilise autour de 50 % (voir courbe en traits interrompus figure 1-6).

À l'échelle nationale, entre 1990 et 1997, les consommations et charges externes représentaient en moyenne 31,9 % du coût total pour la DB, 32,1 % pour RENFE, 30,9 % pour la SNCF et enfin 20,9 % pour FS. Par contre entre 2004 et 2012, ce ratio est estimé à

56 % pour la DB, 46 % pour la SNCF, 56 % pour la RENFE et enfin 37 % pour les FS. Ces chiffres confirment l'idée d'une externalisation des coûts pour la DB et la RENFE et une internalisation des coûts pour la SNCF et les FS.

L'évolution de ce ratio (voir figure 1-6) est symétrique à celle de la part des frais du personnel dans le coût total d'exploitation. Entre 1990 et 1997, ce ratio évolue à la hausse pour la DB, la SNCF et la RENFE, et il évolue à la baisse pour les FS. Par contre entre 2004 et 2012, il est globalement stable pour les FS, croissant pour la SNCF et globalement décroissant pour la RENFE et la DB.

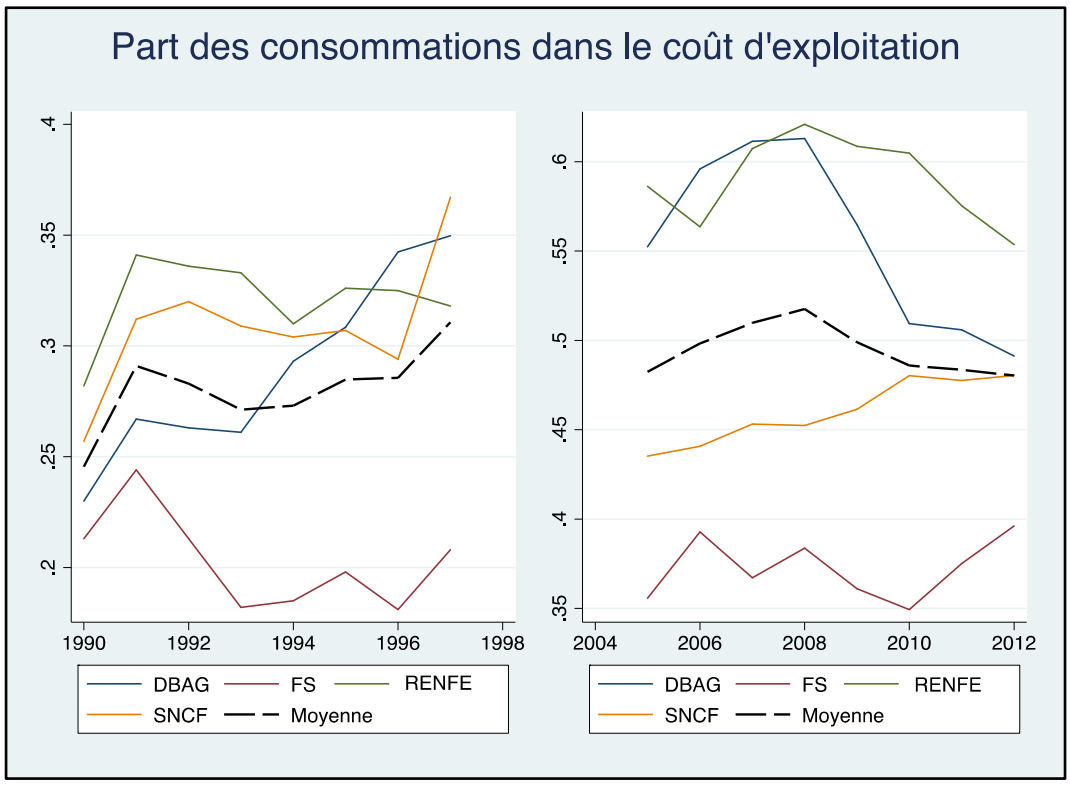


Figure 1-6 : **Évolution de part du coût des consommations et matières premières**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies

c. Évolution du salaire annuel moyen

Le salaire annuel moyen est donné par le rapport entre la masse salariale et l'effectif total de la compagnie. Pour cette étude, le montant de la masse salariale comprend les salaires et les charges sociales. L'évolution de cet indicateur est présentée dans la figure 1-7.

Afin de faciliter l'interprétation des résultats, pour la période 1990-1997, chaque masse salariale exprimée en unité monétaire locale a été convertie en euro, le taux de change pratiqué étant celui de l'année d'admission du pays à la zone euro.

Les calculs montrent qu'entre 1990 et 1997, le salaire moyen pour l'ensemble de l'échantillon est estimé à 35 000 € tandis qu'entre 2004 et 2012, il est estimé à 54 000 € soit

une hausse de 54 %. Il est globalement croissant sur toute la période (voir courbe en traits interrompus de la figure 1-7).

À l'échelle nationale, entre 1990 et 1997, le salaire moyen est estimé à 44 000 € pour la DB, 35 000 € pour FS, 25 000 € pour la RENFE et 34 000 € pour la SNCF. Par contre entre 2004 et 2012, celui-ci est estimé à 62 000 € pour la DB, 50 000 € pour FS, 52 000 € pour la RENFE et enfin 53 000 € pour la SNCF.

L'analyse temporelle montre que le taux de salaire est globalement croissant sur toute la période pour les compagnies telles que la SNCF, la RENFE et les FS. Par contre, pour la DB, celui-ci est globalement décroissant entre 1993 et 1997 puis croissant entre 2004 et 2012. En général les chiffres montrent une hausse de 58 % pour la DB, 118 % pour FS, 145 % pour la RENFE et enfin 96 % pour la SNCF.

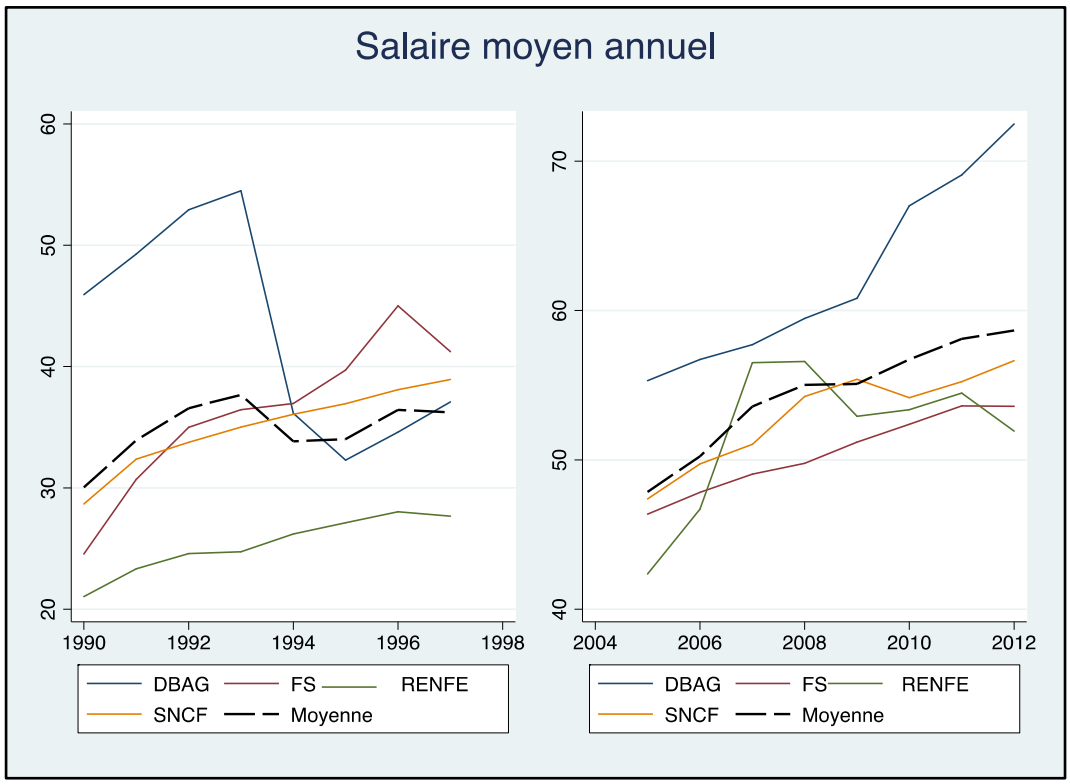


Figure 1-7 : **Évolution du salaire moyen par employé**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

d. Évolution du coût total par unité de production

Par définition il est égal au coût total d'exploitation rapporté au niveau de production (unité de trafic ou trains km). C'est un indicateur clé pour la comparaison du coût sous-jacent des exploitants des chemins de fer. L'idéal serait de calculer ce coefficient selon les branches d'activité (voyageur ou fret). Ne disposant pas d'informations détaillées sur les coûts d'exploitation par branche d'activité, notre analyse se fera donc d'une part avec l'hypothèse

qu'un train km de voyageurs est égal à un train km de marchandises, ce qui nous permet de calculer le coût par train km et d'autre part avec l'hypothèse selon laquelle un voyageurs-km est égal à une tonnes-km, ce qui nous permet d'évaluer le coût par unité de trafic.

L'évolution de ces variables est respectivement présentée dans la figure 1-8 et la figure 1-9. Pour cet échantillon, le coût moyen par train km est estimé à 28 € tandis que le coût moyen par unité de trafic est estimé à 14 centimes d'euro. Comme on peut le voir dans la figure 1-8 et la figure 1-9, le coût moyen par unité de production est globalement croissant sur toute la période. Cette croissance est estimée à environ + 1.2 % par an.

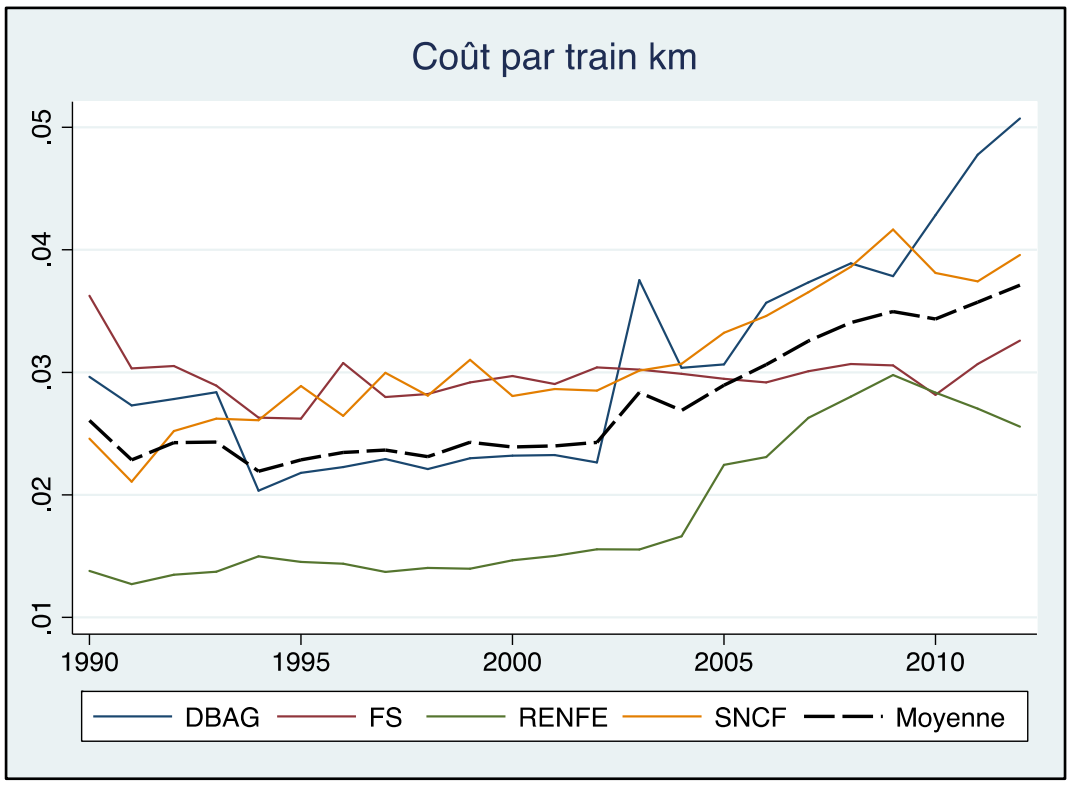


Figure 1-8 : **Évolution du coût total par train km**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

À l'échelle nationale, les données montrent qu'entre 1990 et 2012, le coût moyen par train km est estimé à 31 € pour la SNCF, 31 € pour la DB, 30 € pour les FS et enfin 19 € pour RENFE, tandis que le coût moyen par unité de trafic est estimé 16,8 centimes € pour la DB, 14,2 centimes € pour les FS, 11,1 centimes € pour la RENFE et enfin 13 centimes € pour la SNCF.

Comme le montre les figure 1-8 et figure 1-9, le coût par unité de production (coût par train km ou coût par unité de trafic) est globalement croissant pour la RENFE (+ 82 %) et pour la SNCF (+ 42 %). Pour la DB, ce coût évolue à la baisse entre 1990 et 2000, puis il est globalement croissant entre 2000 et 2012 (+ 29 %). Pour les FS, l'évolution du coût par unité

de production est similaire à celle de la DB, légèrement à la baisse entre 1990 et 1996 puis une faible croissance entre 1996 et 2012. Pour les FS, ce coût est globalement stable entre 1995 et 2012. La SNCF, la DB et la RENFE sont, caractérisées par une inflation du coût par unité de production (voir également annexe 1-8 et annexe 1-9)

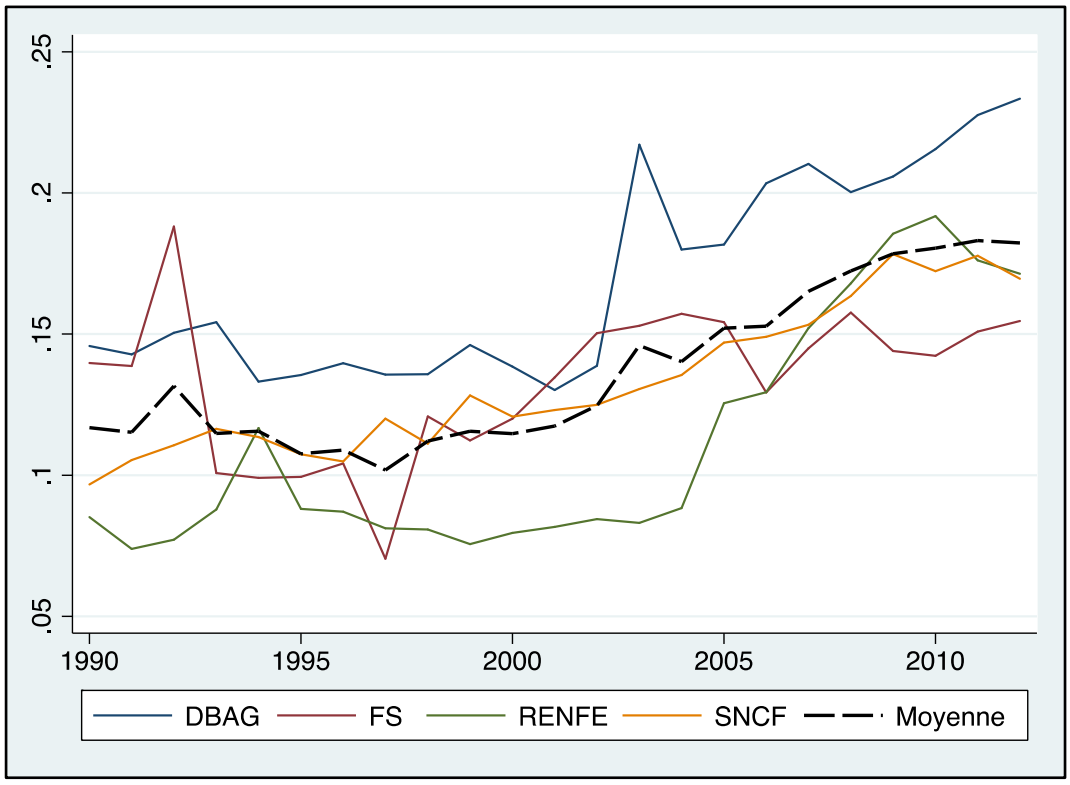


Figure 1-9 : **Évolution du coût par unité de trafic**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

1.2.3. Les indicateurs de performance commerciale

Comme indicateurs de performance commerciale nous avons retenu : le nombre de voyageurs par train, le nombre de tonnes par train et les parts de marché. Les deux premiers indicateurs reflètent le niveau d'utilisation de la capacité disponible tandis que les deux autres reflètent non seulement l'efficacité de la gestion mais aussi les conditions de concurrence auxquelles est confrontée la compagnie ferroviaire.

Avant d'analyser ces indicateurs, il est important de voir l'évolution du trafic commercialisé sur cette période. Les indicateurs utilisés à cet effet sont : le nombre de voyageurs-kilomètres et le nombre de tonnes kilomètre.

1.2.3.1. Analyse du trafic commercialisé ou de la demande

a. Le nombre de voyageurs-km

Le nombre de voyageurs-km est un indicateur du niveau de consommation de la branche qui tient compte du nombre de voyageurs transporté et de la distance parcourue. Il peut être fortement influencé par la qualité de service mais aussi par les prix pratiqués.

Les données montrent qu'entre 1990 et 2012, le nombre moyen de voyageurs-km est estimé à 51 milliards, celui-ci est globalement croissant sur toute la période (voir courbe en traits interrompus figure 1-10).

À l'échelle individuelle, l'analyse du nombre de voyageurs-km (voir figure 1-10 et annexe 1-1) affiche une croissance quasi continue du trafic pour la DB (+ 100 % entre 1990 et 2012) et pour la RENFE (+ 37 % entre 1990 et 2012). Pour la SNCF, le trafic recule entre 1990 et 1996 puis il suit un mouvement de croissance quasi continue entre 1996 et 2012 (+ 34 %). Enfin pour les FS, le trafic évolue à la hausse entre 1990 et 1996, puis il suit un mouvement de décroissance continue entre 1996 et 2012. Même si le trafic de voyageurs est influencé par la crise pour certaines compagnies, on peut noter une croissance annuelle de 1.4 % pour l'ensemble des compagnies.

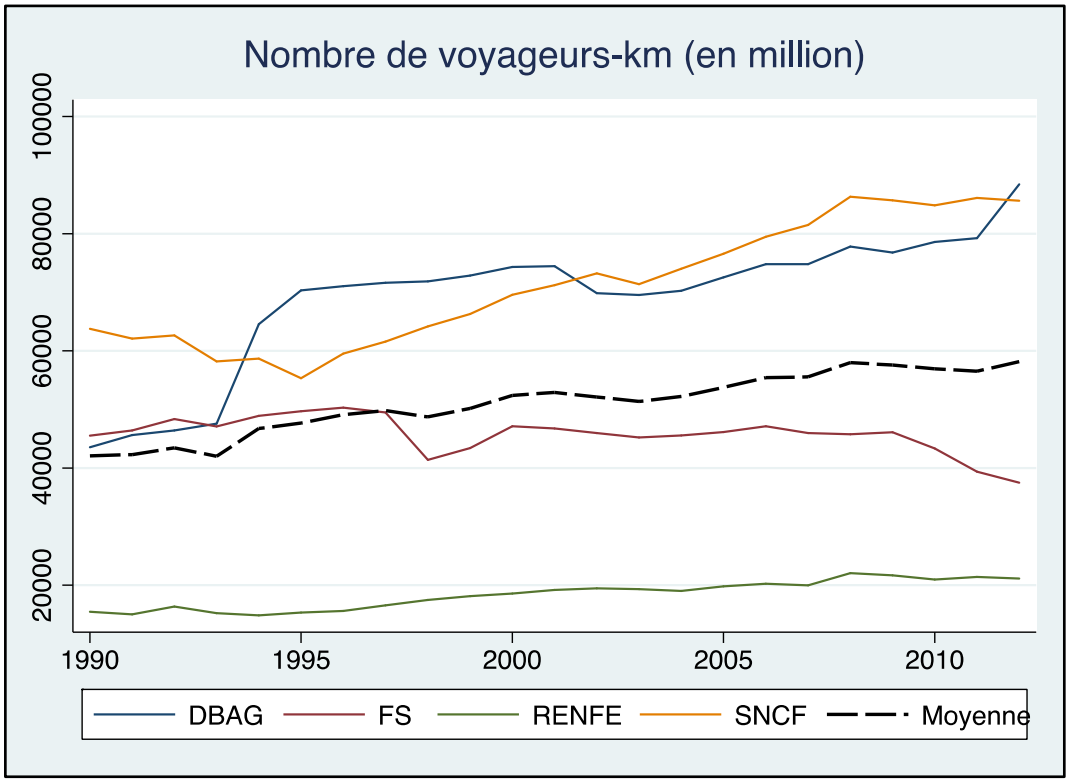


Figure 1-10 : **Évolution du nombre de voyageurs km entre 1990 et 2012**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

L'évolution du nombre voyageurs-km permet également de constater que la crise financière de 2008 a considérablement affecté le trafic de voyageurs puisque, pour l'ensemble des compagnies, le nombre de voyageurs-km décroît à partir de 2008. En Allemagne et en France, le trafic devient croissant à partir de 2010 tandis qu'en Italie et en Espagne, il continue de décroître.

b. Le nombre de tonnes-km.

Par analogie avec le nombre de voyageurs-km, le nombre de tonnes-km est un indicateur du niveau de consommation de la branche transport de marchandises. Cet indicateur dont l'évolution est présentée dans la figure 1-11, tient compte du nombre de tonnes de marchandises transportées ainsi que la distance parcourue.

Entre 1990 et 2012, le nombre moyen de tonnes-km est estimé à 40 milliards pour l'ensemble de l'échantillon. Cette moyenne croit faiblement entre 1990 et 2000 et reste stable entre 2000 et 2012 (voir la courbe en traits interrompus dans la figure 1-11).

La figure 1-11 montre une forte hétérogénéité en ce qui concerne l'évolution du nombre moyen de tonnes-km par compagnie. Les résultats du test de comparaison de Kruskal-Wallis montrent le nombre moyen de tonnes-km varie d'un pays à un autre (voir tableau 1-3), mais il est constant d'une année à une autre (voir annexe 1-21 pour les résultats). Ces résultats nous permettent de constater que la DB réalise la meilleure performance avec une moyenne de 82 milliards de tonnes-km. Elle est suivie par la SNCF (46 milliards), FS (21 milliards) et la RENFE (11 milliards).

Tableau 1-3 : **Test de comparaison du nombre de Tonnes-km**

ID	Obs	Somme des rangs
DBAG	23	1849
FS	23	813
RENFE	23	276
SNCF	23	1340
Chi deux = 83,921 Probabilité = 0,0001		

L'analyse temporelle montre que la DB suit un mouvement de croissance quasi continue entre 1990 et 2012 (+ 70 %), (voir figure 1-11). Pour les trois autres compagnies, le trafic est d'abord croissant entre 1990 et 1996 puis il suit un mouvement de décroissance continue entre 1996 et 2012.

Entre 1990 et 2012, le trafic a baissé de 41 %, pour FS, 35 % pour la RENFE et enfin 37 % pour la SNCF. Ce résultat montre que le trafic de marchandises est nettement en baisse depuis 2008 et l'on peut également noter que la DB est l'unique compagnie qui échappe à ce

déclin puisque son trafic croît de 0.8 % par an. Ce résultat peut également s'observer en regardant l'évolution de l'indice du nombre de tonnes-km (voir annexe 1-3).

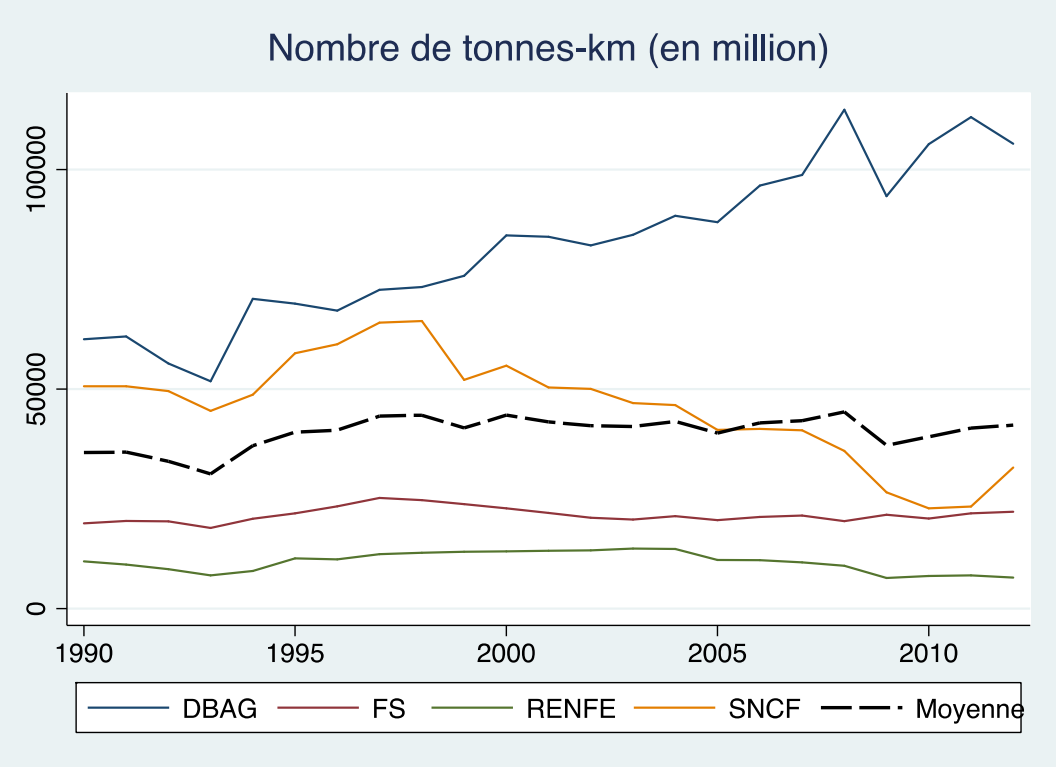


Figure 1-11 : **Évolution du nombre de tonne km**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

1.2.3.2. Analyse de l'utilisation des capacités

a. Le nombre de voyageurs par train.

C'est un indicateur du niveau de capacité mais aussi un déterminant important de l'efficacité productive des compagnies ferroviaires. En effet pour Cantos et al. (2010); Cantos Sánchez, (2001); Pedro et al. (2008, 2012), une augmentation du nombre de voyageurs par train permet d'accroitre l'efficacité technique des compagnies ferroviaires (voir figure 1-12 pour l'évolution de cette variable et l'annexe 1-2 pour l'évolution de l'indice de cette variable).

L'analyse descriptive montre que pour cet échantillon, le nombre moyen de voyageurs par train est estimé à 154, cette moyenne annuelle est globalement stable sur toute la période (voir la courbe en traits interrompus de la figure 1-12).

A l'échelle individuelle, une forte hétérogénéité existe entre les compagnies. Comme le montre la figure 1-12, le nombre de voyageurs par train évolue à la baisse pour FS. On note ainsi une baisse de 16 % entre 1990 et 2012, soit une baisse annuelle de 0.7 %. Pour DB, le nombre de voyageurs par train est globalement stable entre 1990 et 2003 puis il évolue à la

hausse entre 2003 et 2012. On peut ainsi noter une croissance annuelle de + 1,5 % entre 2004 et 2012. La SNCF fait la différence puisqu'elle a un trafic qui connaît une croissance quasi continue sur toute la période (+ 3,7 % entre 1990 et 2012). Enfin pour la RENFE, on note une croissance continue entre 1990 et 2008, puis évolution à la baisse entre 2008 et 2012.

Néanmoins les données montrent que la DB (108 voyageurs/train) est la compagnie qui a le nombre de voyageurs par train le moins élevé, elle occupe donc la quatrième place du classement. La troisième place de ce classement est attribuée à la RENFE (135 voyageurs/train) tandis que la deuxième place est attribuée aux FS (180 voyageurs/ train). La SNCF occupe la première place avec une moyenne de 192 voyageurs/train ce qui devrait lui assurer des niveaux de productivité élevés. Ce classement a été confirmé par les résultats du test de Kruskal-Wallis. Les résultats de ce test (voir tableau 1-4) montrent que le nombre moyen de voyageurs-km varie d'un pays à un autre.

Tableau 1-4: **Test de comparaison du nombre de voyageurs par train**

ID	Obs	Somme des rangs
DBAG	23	291
FS	23	1473
RENFE	23	790
SNCF	23	1724
Chi-deux=77,771 Probabilité= 0,0001		

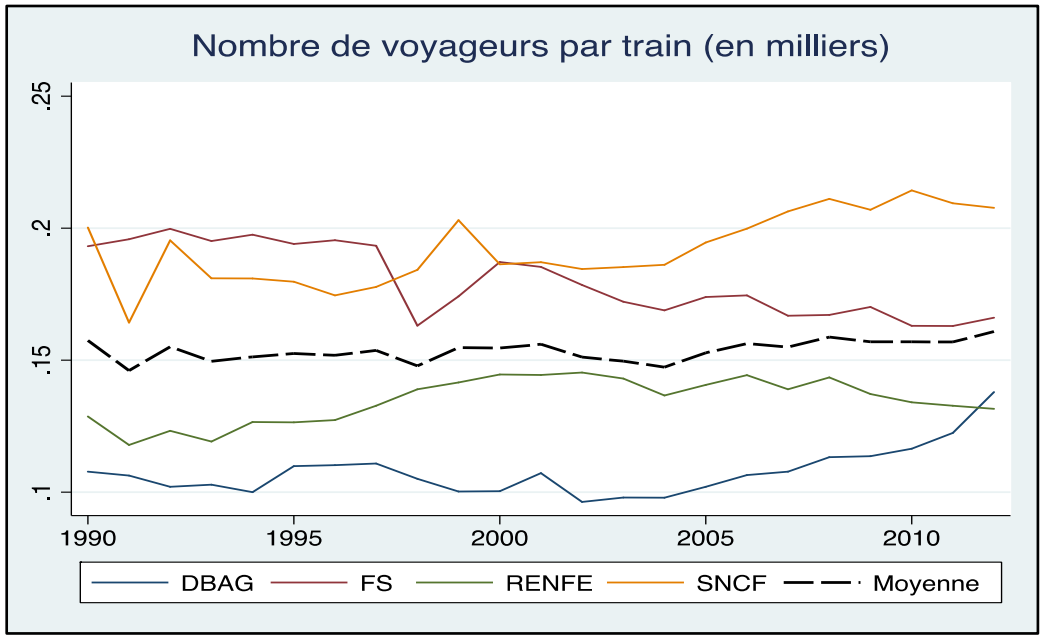


Figure 1-12 : **Evolution du nombre de voyageurs par train**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

b. Le nombre de tonnes par train.

Il est égal au rapport entre le nombre de tonnes-km et le nombre de trains-km de marchandises. Il indique donc le niveau d'utilisation de la capacité disponible. A l'image du nombre de voyageurs par train, le nombre de tonnes par train est positivement corrélé à l'efficacité technique des compagnies ferroviaires. Ainsi une augmentation du nombre de tonnes par train pourrait entrainer une amélioration de la viabilité financière des compagnies ferroviaires.

Les caractéristiques de tendance centrale montrent que le nombre moyen de tonnes par train est de 372. Comme on peut le voir dans la figure 1-13 (voir courbe en traits interrompus), le nombre moyen de tonnes par train est globalement croissant sur toute la période. Il est estimé à 409 pour la DB, 388 pour FS, 304 pour la RENFE et enfin 389 pour la SNCF. La valeur plus élevée du nombre de tonnes par train de la DB peut être reliée au dynamisme de son trafic. Comme on l'a vu précédemment, elle est l'unique compagnie dont le trafic n'a pas reculé entre 1990 et 2012.

La figure 1-13 (voir également l'annexe 1-4) montre que le nombre de tonnes par train est globalement croissant pour la DB (+70 %), pour la SNCF (+ 34 %) et pour la RENFE (+ 76 %). Pour les FS, il suit une tendance à la hausse d'une part entre 1990 et 1999 et d'autre part entre 2006 et 2012. Pour le reste de la période, cet indicateur suit un trend à la baisse.

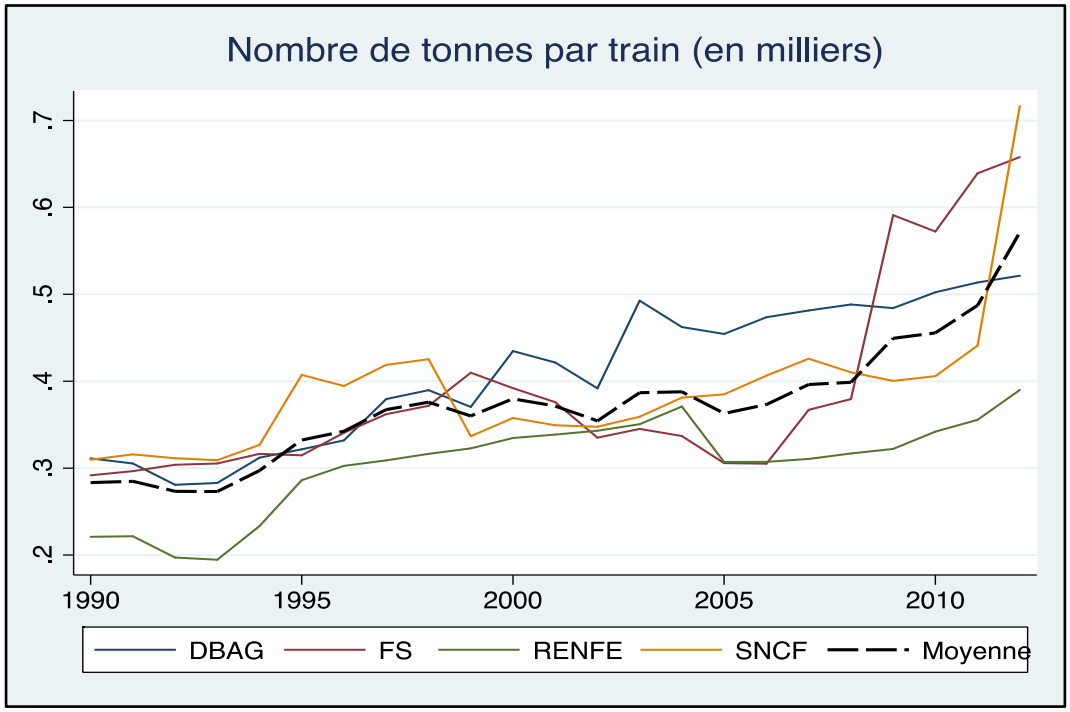


Figure 1-13 : **Evolution du nombre de tonne par train**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

1.2.3.3. Les indicateurs de parts de marché

Comme on l'a mentionné plus haut, ces indicateurs sont généralement utilisés pour juger de l'efficience de la gestion mais aussi des conditions de concurrence auxquelles est confrontée la compagnie ferroviaire. Il est fort probable que de fortes subventions publiques et/ou des régimes tarifaires contraignants créent un scénario de part de marché peu réaliste [(ECMT, 2000) ; (Nash and Preston, 1994b)].

a. La part de marché du transport ferroviaire de marchandises

La part de marché est déterminée par le ratio entre le trafic réalisé par le ferroviaire sur le trafic total réalisé par voie terrestre dans le pays. Pour la branche transport de marchandises, la part de marché est donnée par le rapport entre le nombre de tonnes-km réalisés par le train et le nombre total de tonnes-km (train + route + les voies navigables).

Entre 1991, en moyenne, 18% du trafic de marchandises étaient effectués par les voies ferrées contre 14% en 2012 soit une baisse générale de 22% (l'équivalent d'une baisse annuelle de 2%). Entre 1991 et 2012, le transport ferroviaire de marchandises représentait en moyenne 21 % du trafic total en Allemagne, 18 % en France 11 % en Italie et enfin 6.5 % en Espagne.

Les données montrent que la part du ferroviaire évolue à la baisse entre 1990 et 2012 en France et en Espagne. Par contre en Allemagne et en Italie, cette part évolue légèrement à la baisse entre 1990 et 2005 puis elle suit un trend de hausse entre 2005 et 2012 (voir figure 1-14).

b. La part de marché du transport ferroviaire de voyageurs

Pour la branche transport terrestre de voyageurs, la part de marché du ferroviaire est égale au rapport entre le nombre de voyageurs-km réalisés par le train et le nombre total de voyageurs-km total (train + voiture particulière + autocars + autobus et trolley bus).

En 1990, le transport ferroviaire de voyageurs représentait 7% du trafic total de voyageurs contre 7.6% en 2012, soit une hausse globale de 8.6% entre ces deux dates (en moyenne +0.7% de croissance annuelle). L'analyse temporelle montre que la part moyenne du transport ferroviaire de voyageurs évolue à la baisse entre 1990 et 2001, puis elle suit un trend de croissance entre 2001 et 2012 (voir courbe en traits interrompus de la figure 1-15).

D'après la figure 1-15, la part de marché du ferroviaire de voyageurs en Allemagne suit une tendance à la hausse même si cette part connaît un léger recul entre 2001 et 2002. En Espagne et en Italie, cette part évolue fortement à la baisse entre 1990 et 1997, puis elle croît

faiblement entre 1997 et 2012. En France c'est le même scénario qui est observé. Entre 1990 et 1995, la part du ferroviaire diminue considérablement puis elle suit un mouvement de croissance continue entre 1995 et 2005. Enfin en Allemagne, cette part suit une tendance à la hausse sur toute la période.

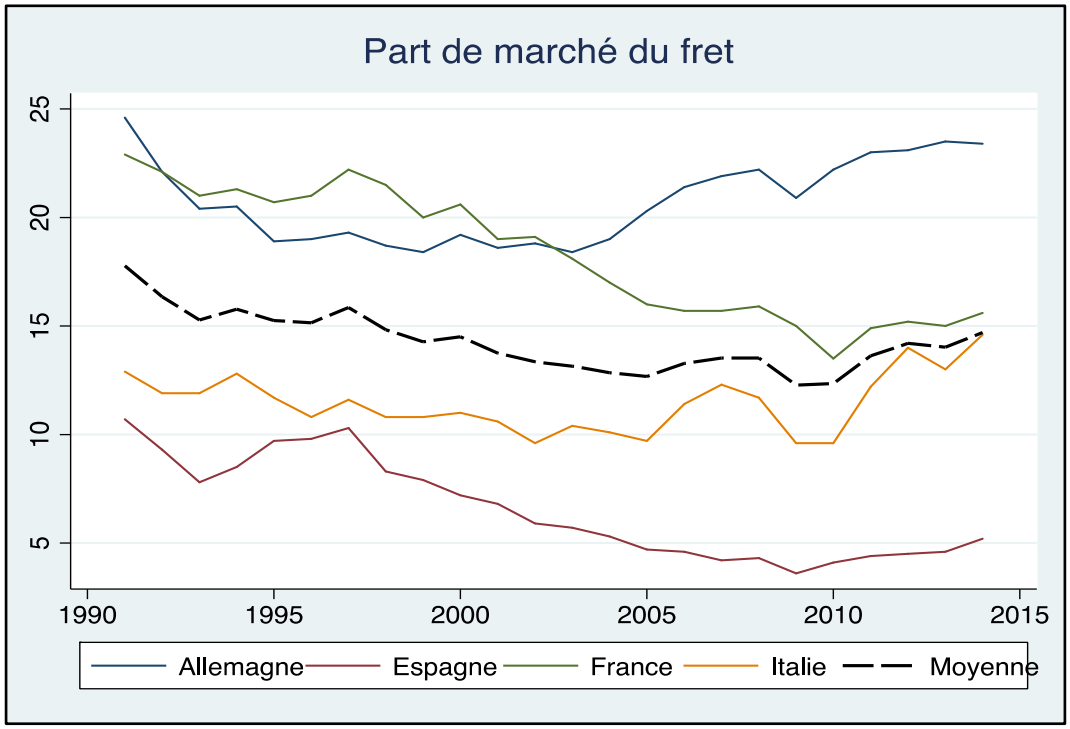


Figure 1-14 : **Evolution de la part de marché du transport de fret**
Sources: auteur à partir des données EUROSTAT

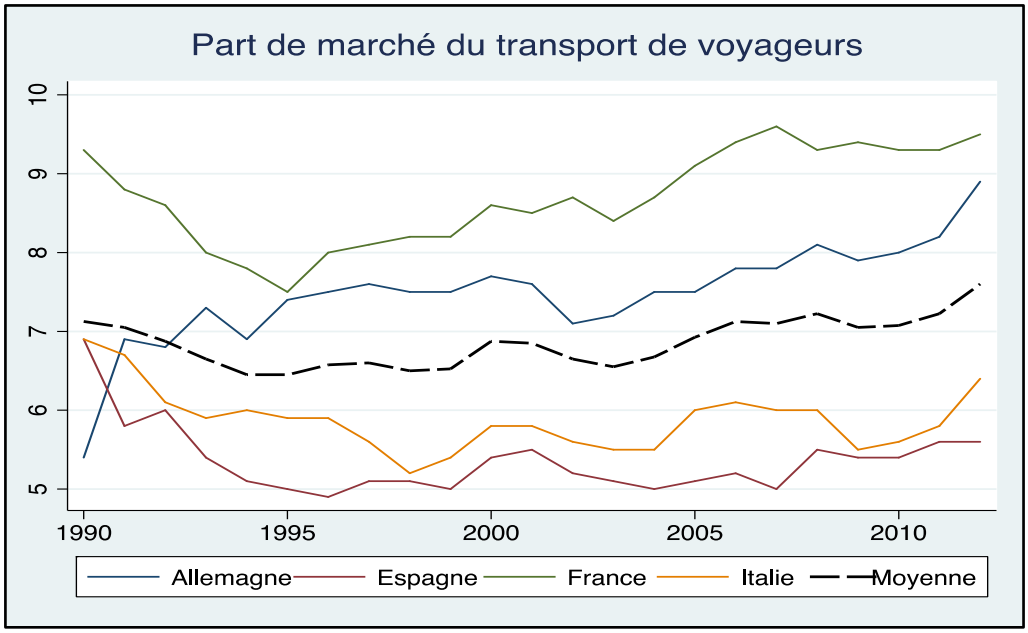


Figure 1-15 : **Evolution des part de marché du transport de voyageurs**
Sources: auteur à partir des données EUROSTAT

Comparé aux autres pays, la France a une part plus importante (9 %). Elle est suivie dans ce classement par l'Allemagne (7 %), l'Italie (6 %) et l'Espagne (5 %). Malgré ce classement le constat est que le transport ferroviaire de voyageurs ne représente même pas 10 % du trafic total, part qui est donc assez faible.

1.2.4. Les indicateurs de performance productive

Comme mentionné dans la section précédente, les indicateurs de performance productive permettent de mesurer la contribution d'un ou de plusieurs facteurs de production à la variation du résultat final dégagé par un processus de transport. Dans son ouvrage intitulé « la Richesses des Nations », Adam Smith distingue trois types facteurs, le capital, le travail et la terre dont les contributions relatives à la production varient. En microéconomie, les facteurs de production généralement retenus sont la main-d'œuvre et le capital. Dans l'industrie ferroviaire, le facteur capital est équivalent au matériel roulant de l'entreprise c'est-à-dire, les locomotives, les automoteurs, les wagons et les véhicules.

Les indicateurs de performance productive retenus sont : la productivité de la main d'œuvre, la productivité des locomotives, la productivité des voitures et enfin la productivité des wagons.

Avant d'analyser l'évolution de ces indicateurs, il est important de présenter l'évolution du niveau d'offre. Pour une compagnie ferroviaire, l'offre est évaluée par le nombre de trains-km, indicateur qui peut être ventilé selon l'activité (voyageurs ou fret).

1.2.4.1. Analyse du trafic.

Pour une compagnie ferroviaire, l'offre réelle est évaluée par le nombre de trains-km qui peut être ventilé selon les activités.

a. Le nombre de trains-km de voyageurs.

La figure 1-16 présente l'évolution de cette variable tandis que l'annexe 1-10 affiche l'évolution de l'indice de cette variable. Les statistiques descriptives montrent qu'entre 1990 et 2012, le nombre moyen de trains-km de voyageurs est estimé à 642 millions pour la DB, 369 millions pour la SNCF, 255 millions pour FS et enfin 136 millions pour la RENFE. Pour l'ensemble, la moyenne est estimée à 351 millions de trains-km de voyageurs, elle est globalement croissante entre 1990 et 2005 puis elle se stabilise durant le reste de la période (voir courbe en traits interrompus, figure 1-16).

A l'échelle individuelle, la figure 1-16 montre que le nombre de trains-km de la DB est globalement croissant entre 1990 et 2006 (+70 %), puis il recule entre 2006 et 2012. Pour la SNCF et la RENFE, le trafic est globalement croissant sur toute la période. Cette croissance est estimée à + 30 % pour la SNCF et + 34 % pour la RENFE. Du côté des FS, le trafic croit faiblement entre 1990 et 2008 (+17 %) puis il est stoppé par la crise de 2008. Entre 2008 et 2012, l'offre de trains-km voyageurs des FS connaît un fort recul (-25 %) avant même l'arrivée du concurrent NTV.

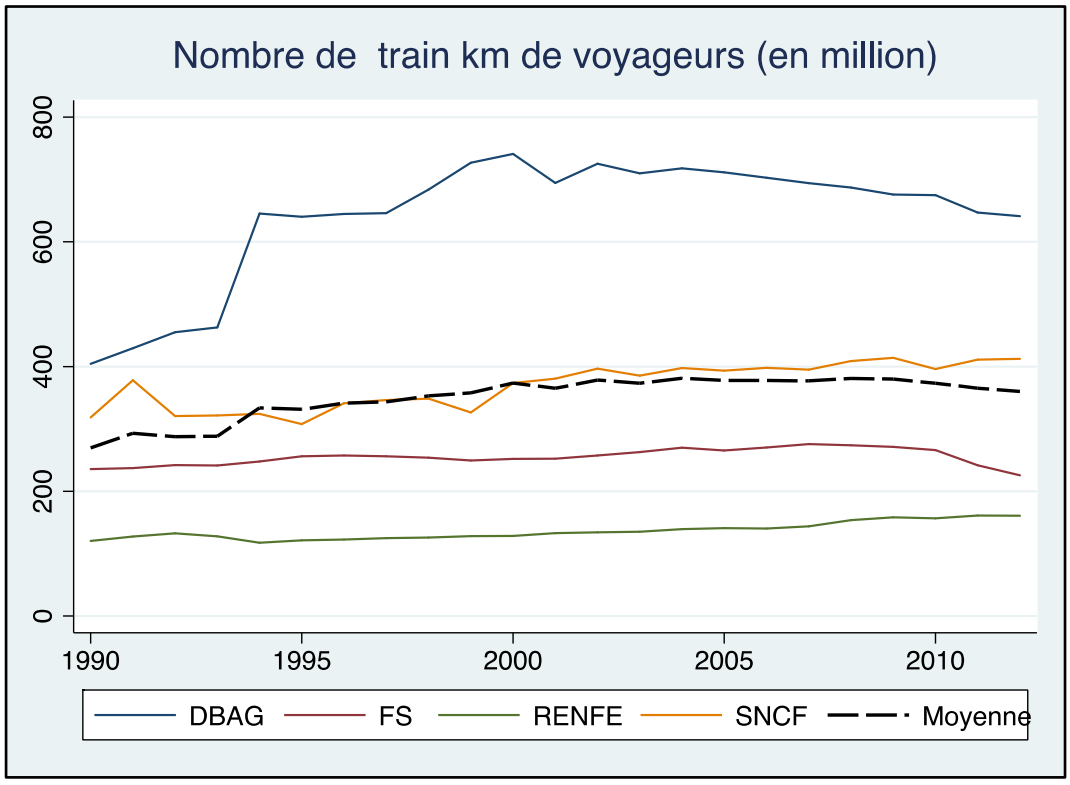


Figure 1-16 : **Evolution du nombre de train km de voyageurs**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

c. Le nombre de trains-km de marchandises.

Présentée dans la figure 1-17, l'évolution de cette variable est assez différente de celle du nombre de trains-km de voyageurs. Les résultats montrent qu'entre 1990 et 2012, l'offre de trains-km de fret est globalement stable pour la DB, alors que pour les trois autres compagnies cette offre décroit sur toute cette période. Cette baisse est de 50 % pour les FS, baisse qui est concentrée entre 2007 et 2009. La RENFE a enregistré une baisse continue (-68 %) de trafic, tandis que pour la SNCF, cette baisse est de -70 %, dégradation qui s'est accélérée depuis 2000.

Au total, entre 1990 et 2012, l'offre de trains-km de marchandises a diminué au rythme de 2,04 % par an, à l'inverse de l'offre ferroviaire de voyageurs qui a augmenté de 1,4 % par an (voir également l'annexe 1-11 pour l'évolution de l'indice de cette variable).

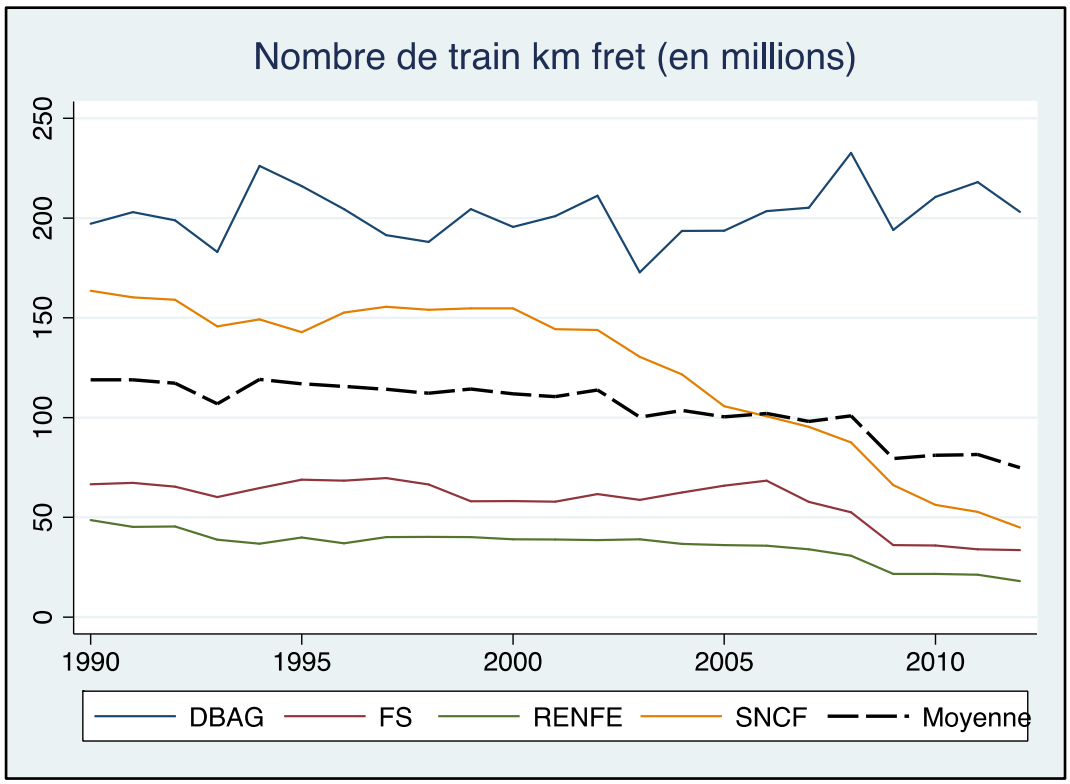


Figure 1-17 : **Evolution du nombre train km fret (en millions)**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

1.2.4.2. Les indicateurs de mesure de la productivité.

a. La productivité du facteur travail.

Par définition, la productivité du facteur travail est égale au rapport entre la quantité produite et la main-d'œuvre utilisée, il s'agit donc d'un rapport output/input.

Deux indicateurs nous ont permis d'évaluer la productivité du facteur. Il s'agit du nombre total de trains-km rapporté à l'effectif total de la compagnie (voir figure 1-19) et du rapport entre les unités de trafic (tonnes-km + voyageurs-km) et l'effectif total (voir figure 1-18). Cette façon d'appréhender la production a fait l'objet d'un certain nombre de critiques (Pitfield and Button, 1985) en considérant qu'il simplifie la réalité.

Exprimée en trains-km, la productivité moyenne par employé est estimée à 4 milliers d'unités de trafic, elle est globalement croissante sur toute la période (voir courbe en traits interrompus dans la figure 1-19). Exprimée en unités de trafic, la productivité moyenne par employé est estimée 73 milliers, elle est globalement croissante sur toute la période, même si

elle connaît un recul entre 2008 et 2012 suite à la crise de 2008 (voir courbe en traits interrompus dans la figure 1-18).

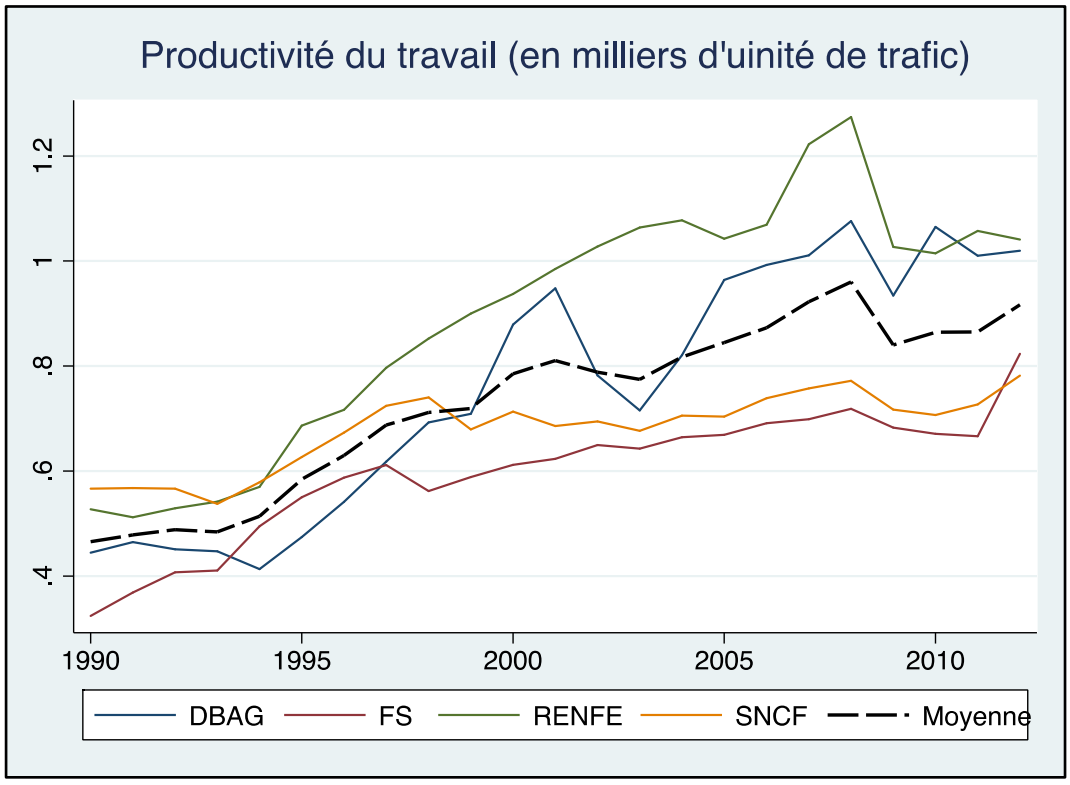


Figure 1-18 : **Evolution de la productivité physique du travail (en unité de trafic)**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

Exprimée en unités de trafic, la productivité moyenne par employé est estimée 760 000 pour la DB, 890 000 pour la RENFE, 680 000 pour la SNCF et enfin 596 000 pour FS. Exprimée en trains-km, la productivité moyenne par employé est estimée à 4 180 pour la DB, 5 238 pour la RENFE, 2 855 pour la SNCF et enfin 2 853 pour FS. Quel que soit l'indicateur de mesure de productivité, la RENFE est la compagnie dont la productivité est la plus élevée dans notre échantillon, la DB occupe la seconde place, suivie par la SNCF et les FS. Ce classement est identique à celui obtenu respectivement par Nash et Preston (1994) et Nash et Shires (2000).

L'analyse temporelle montre que pour la DB, la RENFE et les FS, la productivité du facteur travail a quasiment doublé sur toute la période. Par contre pour la SNCF, l'évolution de l'indicateur de productivité est assez particulière. La SNCF enregistre une forte croissance de la productivité entre 1994 et 1997, elle se stabilise entre 1997 et 2005. Enfin entre 2005 et 2012, elle évolue à la hausse, croissance qui est bloquée par la crise de 2008.

Pour l'ensemble de la période et des entreprises, la productivité apparente du personnel connait une amélioration continue (+ 2,96 % par an), tendance qui est stoppée par la crise de 2008 (voir annexe 1-12 et annexe 1-13).

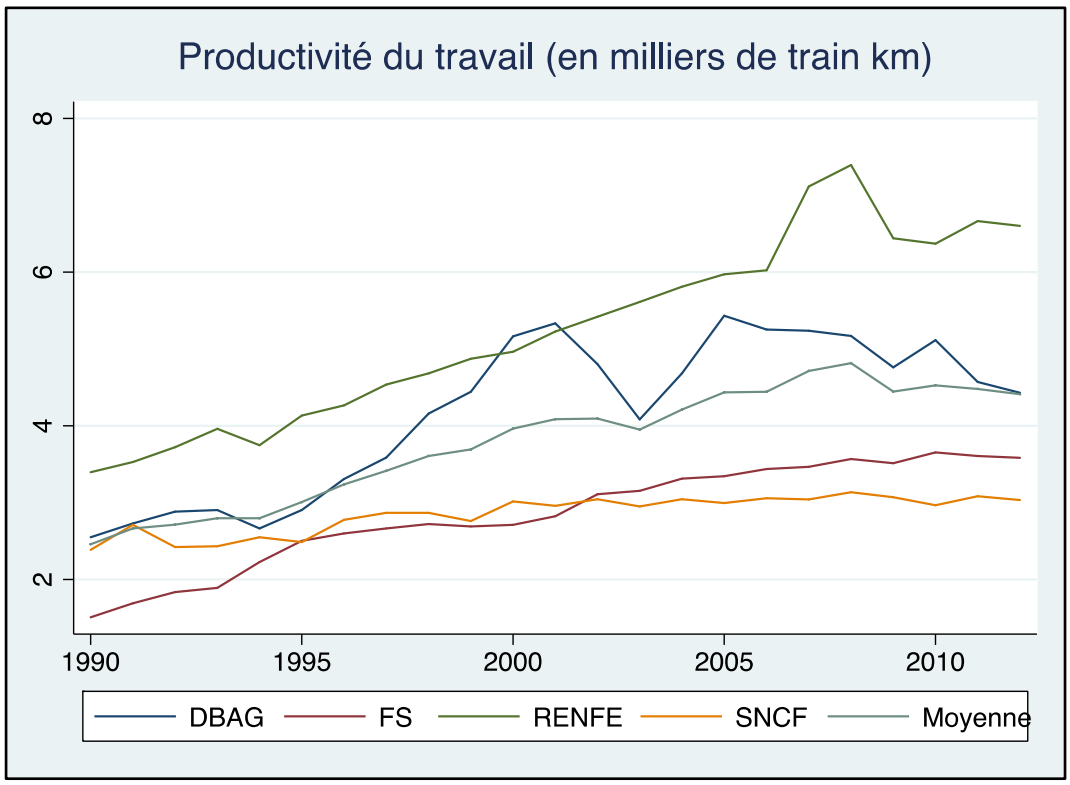


Figure 1-19 : **Evolution de la productivité physique du travail (en trains-km)**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

b. Productivité du matériel moteur.

Le matériel moteur est constitué des locomotives (diesels ou électriques) et des automoteurs (diesels ou électriques). Pour des raisons pratiques, nous allons utiliser le terme « locomotive » pour désigner l'ensemble du matériel moteur. En outre, nous retenons l'unité de trafic (tonnes-km + voyageurs-km) comme indicateurs de mesure de la production. La figure 1-20 présente l'évolution de la productivité des locomotives entre 1990 et 2011 pour les quatre compagnies tandis que l'annexe 1-4 affiche l'évolution de l'indice de la productivité des locomotives.

La productivité moyenne des locomotives est estimée à 15 millions d'unités de trafic, celle-ci est globalement croissante entre 1990 et 2000, puis elle décroit le reste de la période (voir courbe en traits interrompus dans la figure 1-20).

À l'échelle nationale, la productivité moyenne des locomotives est estimée à 13 millions d'unités de trafic pour la DB, 16 millions d'unités de trafic pour la SNCF, 17 millions d'unités de trafic pour la RENFE et enfin 14 millions d'unités de trafic pour FS.

La figure 1-20 montre que, quelle que soit la compagnie, la productivité des locomotives est globalement croissante dans un premier temps puis décroit à un moment donné. Pour la RENFE, la productivité des locomotives est croissante entre 1990 et 2008 (+ 2.8 % par an) puis elle décroit le reste de la période (- 4.6 % par an). Pour la SNCF et FS, les résultats montrent que productivité des locomotives croit respectivement de 1.6 % pour la SNCF et de 0.9 % par an pour FS entre 1990 et 2008 puis elle décroit le reste de la période (-0.9 % par an pour la SNCF et -0.8 % par an pour la FS). De même pour la DB, la productivité des locomotives est globalement croissante entre 1990 et 2001 (+ 1.6 % par an) puis elle décroit le reste de la période (-2.5 % par an).

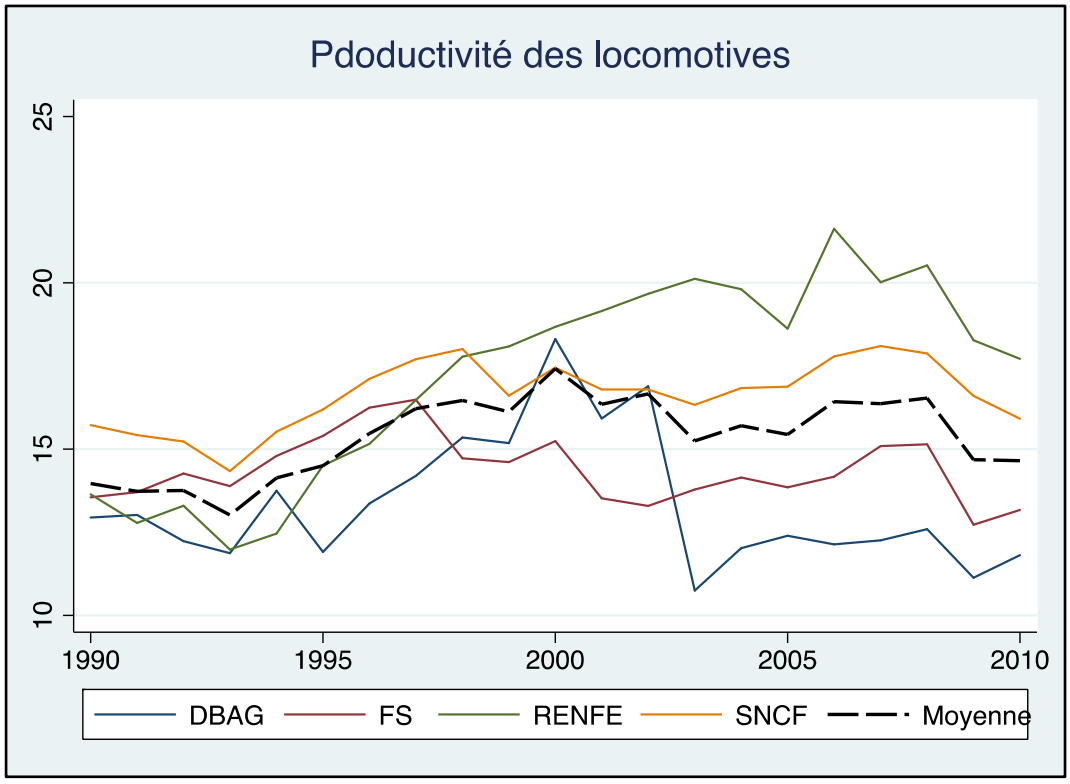


Figure 1-20 : **Evolution de la productivité des locomotives (en million d'unités de trafic)**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

c. Productivité des voitures

Elle est égale au nombre de voyageurs-km rapporté au nombre de voitures de voyageurs. L'évolution de cet indicateur est présentée dans la figure 1-21 (voir l'annexe 1-15 pour l'évolution de l'indice de cette variable). La tendance générale montre que la moyenne des productivités des voitures est globalement croissante sur toute la période, même si cette croissance est freinée avec la crise de 2008. On estime à +1,5 % le taux de croissance moyen de productivité des voitures entre 1990 et 2012.

Pour la SNCF et la RENFE, l'évolution temporelle de cette variable est quasi identique. Elle décroit entre 1990 et 1995 (- 2,25 % par an pour la SNCF et -1,9 % par an pour la RENFE) tandis qu'elle est globalement croissante le reste de la période (+ 2,8 % pour la SNCF et + 2,5 % pour la RENFE). Pour la DB, la productivité des voitures est globalement croissante entre 1990 et 2012 même si celle-ci connaît un recul entre 1998 et 2002. On estime à + 3 % le taux de croissance annuel de productivité des voitures de la DB. Enfin pour les FS, la productivité des voitures est globalement croissante entre 1990 et 2008 puis elle décroît entre 2008 et 2012.

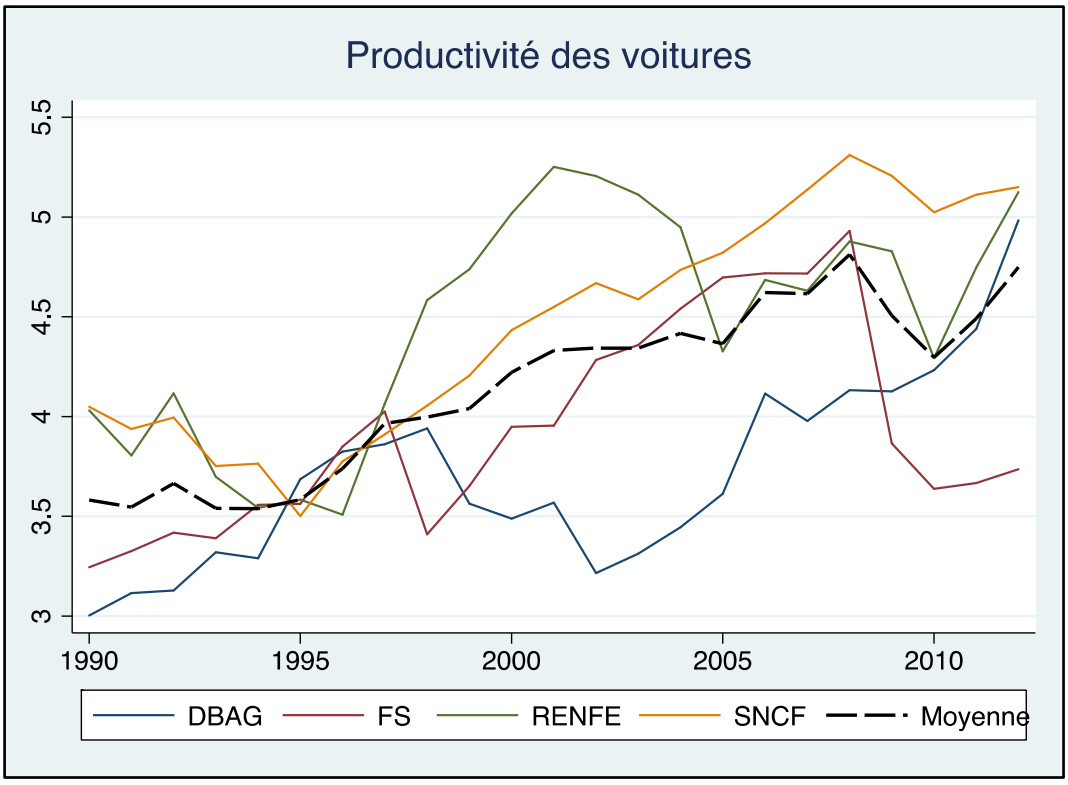


Figure 1-21 : **Evolution de la productivité physique des voitures**
Sources: auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

d. La productivité des wagons.

La productivité des wagons évalue la quantité de trafic réalisé à l'aide du parc de wagons. La figure 1-22 présente l'évolution de cette variable pour les quatre compagnies de notre échantillon et l'annexe 1-18, l'indice de cette variable. L'évolution est la même quelle que soit la compagnie. La productivité est globalement croissante sur toute la période même si celle-ci connaît un léger recul entre 2008 et 2009. Le taux de croissance annuel de cet indicateur est estimé à +14 % pour la DB, + 19 % pour la SNCF, + 19 % pour FS et enfin + 4 % pour la RENFE.

L'analyse des indicateurs de performance productive révèle un trafic globalement croissant pour l'activité transport de voyageurs et un trafic nettement en baisse pour l'activité transport de marchandise. La productivité de la main-d'œuvre est globalement croissante sur la période, mais avec une forte hétérogénéité entre compagnies. Dans le même ordre d'idées, la productivité du matériel roulant (locomotives, voitures, et wagons), est globalement croissante pour l'ensemble

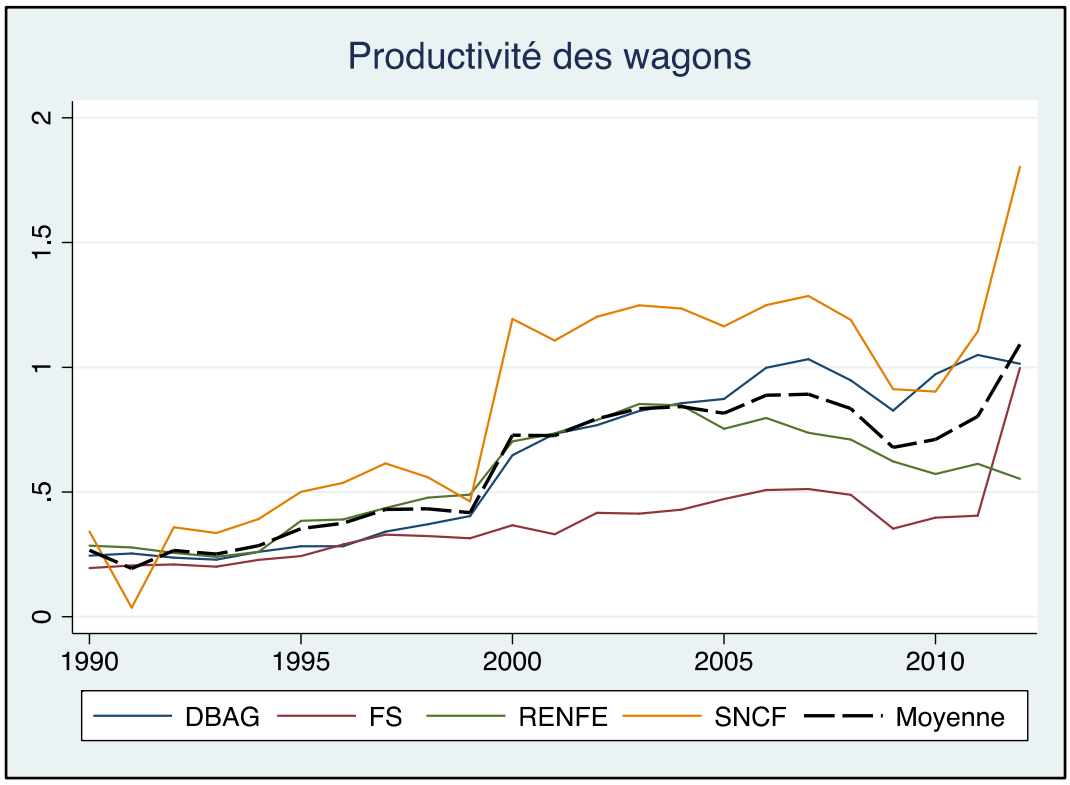


Figure 1-22 : **Evolution de la productivité physique des wagons**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

1.2.5. Analyse de la performance financière

a. Le ratio d'exploitation.

Il mesure la capacité des chemins de fer à couvrir leurs coûts et à générer des fonds pour l'investissement. Par définition, il est égal au coût d'exploitation rapporté au revenu d'exploitation. Un ratio inférieur à l'unité montre que la compagnie est capable de recouvrer ses frais d'exploitation, tandis qu'un ratio supérieur à l'unité traduirait une incapacité de la compagnie à couvrir ses frais d'exploitation avec ses revenus d'exploitation. L'évolution de cet indicateur est présentée dans la figure 1-23 tandis que l'annexe 1-16 présente l'indice de cette variable.

Pour l'ensemble de l'échantillon, la moyenne de ce ratio est de 102 %. En moyenne, les revenus d'exploitation, ne permettent pas de couvrir les frais d'exploitation et par conséquent les compagnies sont peu rentables. L'analyse temporelle montre que la moyenne du ratio décroît sur toute la période (voir courbe en traits interrompus dans la figure 1-23). Ce résultat est également observé à l'échelle nationale.

Entre 1990 et 2012, le ratio moyen d'exploitation est estimé à 108,2 % pour les FS, 100,1 % pour la DB, 99,4 % pour la RENFE et enfin 98,41 % pour la SNCF. La figure 1-23 montre qu'entre 1990 et 2000, les ratios d'exploitation sont assez divergents et pour la majorité ce ratio est supérieur à un. Le constat est celui d'une dégradation de la rentabilité entre ces deux dates. Cette dégradation est plus forte pour la RENFE, les FS et la DB. Par contre entre 2000 et 2012, ces ratios sont assez convergents et ils se rapprochent de l'unité, ce qui traduit une amélioration de la rentabilité.

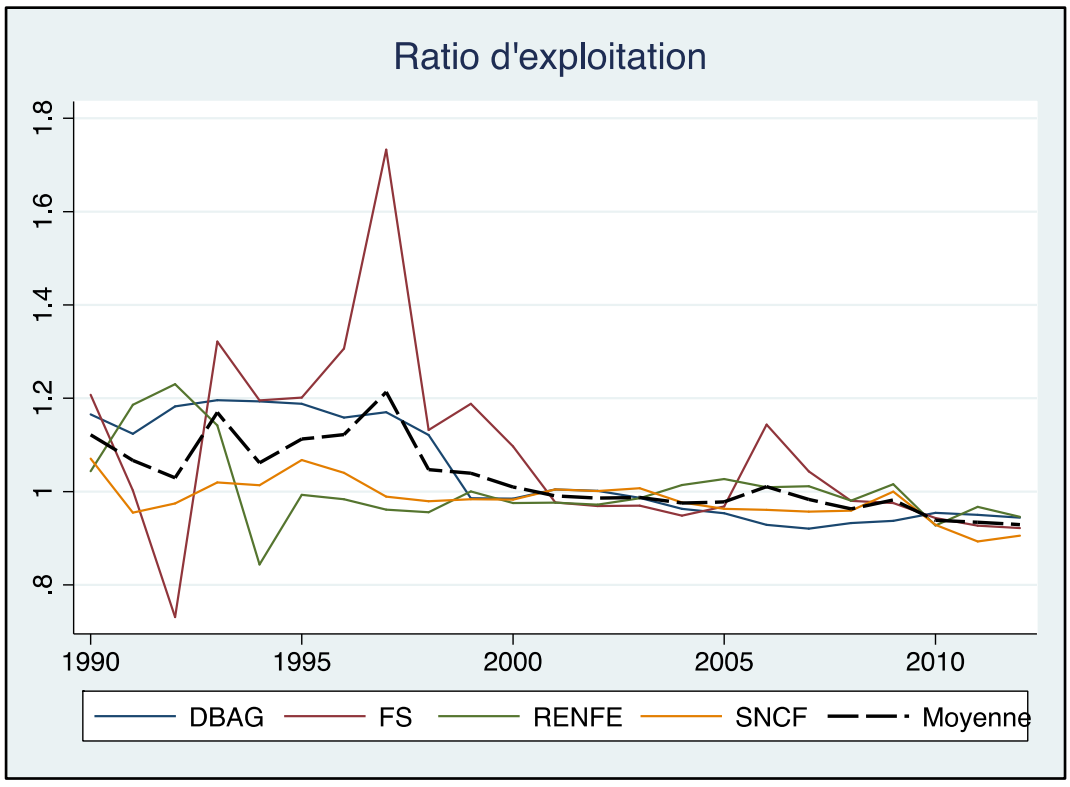


Figure 1-23 : **Évolution du ratio d'exploitation**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

b. Le ratio d'autonomie financière

Il détermine la capacité de l'entreprise à se financer par ses fonds propres. Par définition, il est égal aux capitaux propres rapportés au capital total. En règle générale, une entreprise est autonome lorsque plus de la moitié des ressources dont elle dispose provient de ses fonds propres, c'est-à-dire lorsqu'elle a un ratio supérieur à 50 %. À l'inverse, si le ratio

d'exploitation est très faible, la compagnie risque d'avoir des difficultés à trouver de nouveaux financements pour continuer à se développer. L'évolution de cet indicateur est présentée dans la figure 1-24.

Entre 1990 et 1998, la moyenne du ratio d'autonomie financière pour l'ensemble de l'échantillon est estimée à 34 % tandis qu'entre 2004 et 2012, il est estimé à 41 %. Ces chiffres montrent une forte dépendance externe des compagnies ferroviaires d'où il découle un niveau élevé de dette. Ce résultat s'observe également à l'échelle nationale puisque entre 1990 et 1998, le ratio moyen d'autonomie financière est de 25,6 % pour la DB, 23,5 % pour la SNCF, 32,8 % pour RENFE et 53,5 % pour les FS. Par contre entre 2004 et 2012, celui-ci est estimé à 26,2 % pour la DB, 33.9 % pour la SNCF, 35.2 % pour la RENFE et enfin 48.7 % pour les FS.

L'analyse temporelle montre qu'entre 1990 et 1998, le ratio d'autonomie financière est décroissant pour la DB, la RENFE et pour la SNCF tandis que pour les FS il est globalement croissant. Par contre entre 2004 et 2012, il est globalement croissant pour les FS et la DB, il évolue à la baisse pour la RENFE et la SNCF. Si l'on prend pour référence l'année 1990, ce ratio se dégrade pour toutes les compagnies, à l'exception des FS.

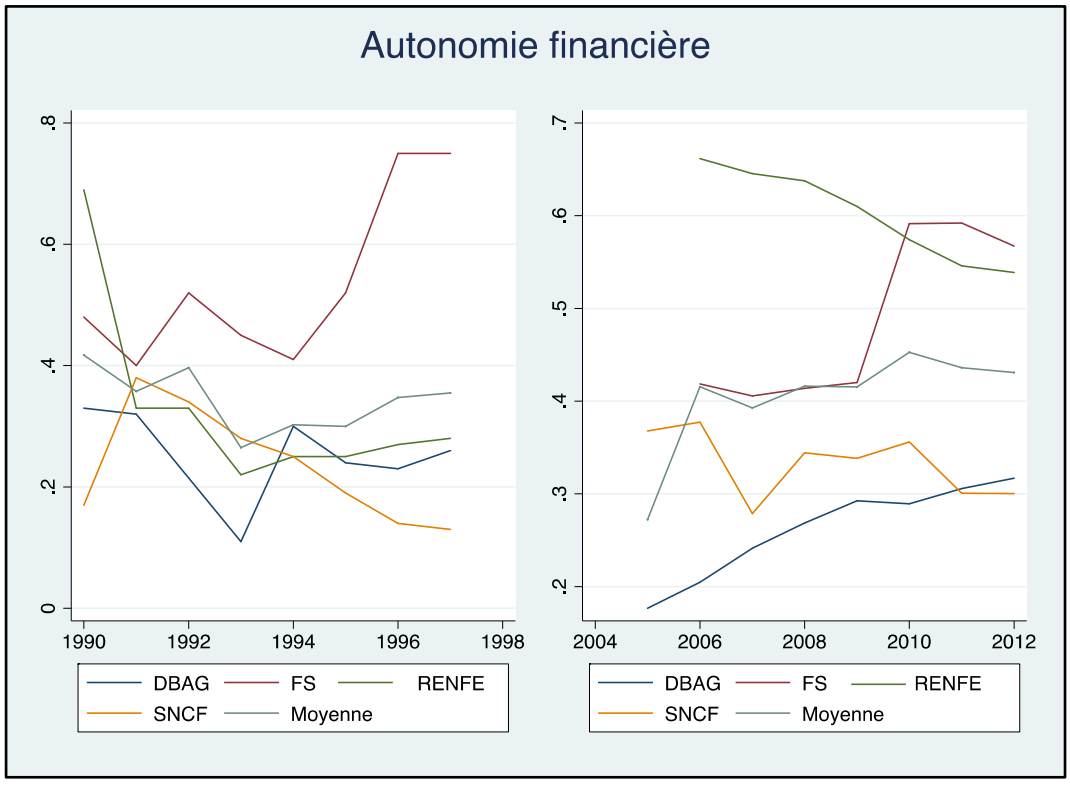


Figure 1-24 : **Évolution du ratio d'autonomie financière**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

c. Le taux d'endettement.

Ce ratio mesure le niveau de la dette que supporte la compagnie par rapport à ses fonds propres. Le taux d'endettement peut également être interprété comme un indicateur d'autonomie financière de l'entreprise puisqu'il mesure le degré de dépendance de la compagnie vis-à-vis des financeurs externes. Par définition il est égal au montant total des dettes rapporté aux capitaux propres. Les dettes englobent aussi bien les dettes à long terme qu'à court terme. En moyenne, ce ratio est bien supérieur en 2012 à son niveau de 1990, avec 120 % contre 97 %.

Entre 1990 et 1997, le taux d'endettement moyen est estimé à 202 % pour les FS, 103 % pour la DB, 62 % pour la RENFE et enfin 49[1] % pour la SNCF. Il suit une évolution à la baisse pour la RENFE et la SNCF, ce qui traduit un processus de désendettement. Par contre, pour la DB et les FS, ce taux évolue à la hausse (voir figure 1-25 et l'annexe 1-17). Entre 2004 et 2012, le taux d'endettement moyen est estimé à 228 % pour la DB, 185 % pour la SNCF[2], 180 % pour la RENFE et enfin 58 % pour FS. Il est globalement décroissant pour la DB et la RENFE, alors qu'il s'inscrit dans un mouvement de croissance continue pour la SNCF et FS.

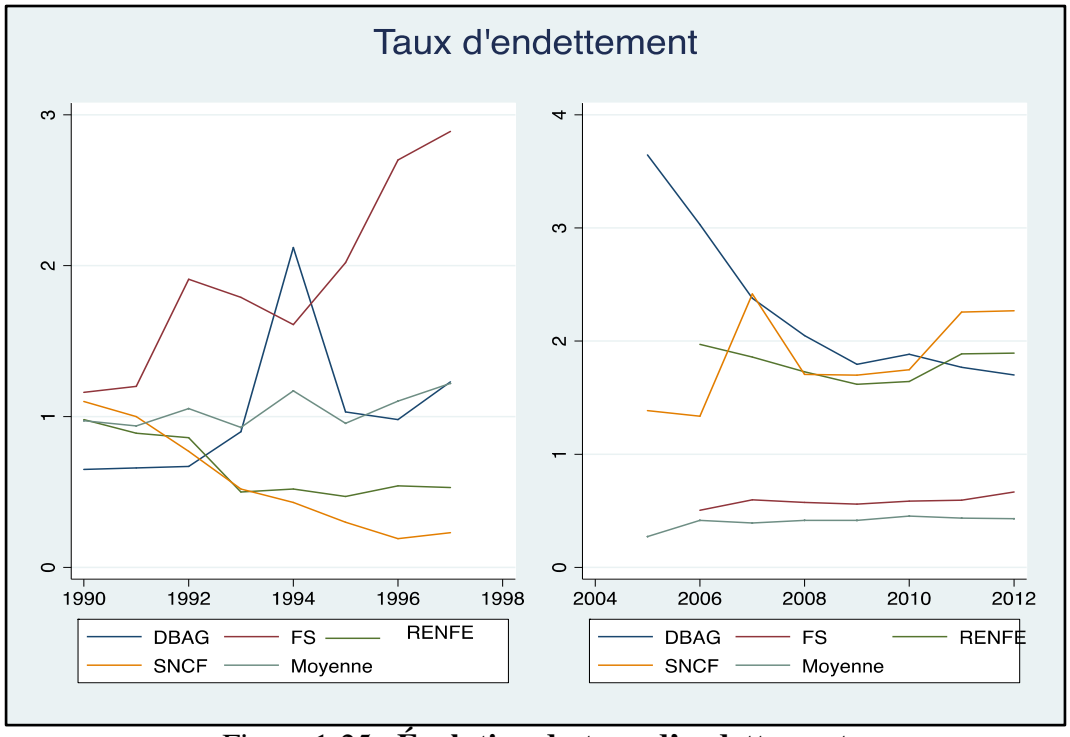


Figure 1-25 : **Évolution du taux d'endettement**
Sources : auteur à partir des données UIC 1990-2012 & des rapports annuels des compagnies.

[1] Pour la SNCF, la dette n'inclue pas celle du RFF (actuel SNCF Réseau).

Conclusion du premier chapitre

Les performances du secteur ferroviaire constituent depuis longtemps une source forte de préoccupation des pouvoirs publics nationaux qui a motivé l'adoption d'une série de réformes. En Europe, la directive 91-440 « relative au développement des chemins de fer communautaires » est pionnière et fondatrice de ce vaste chantier. Elle donne la direction souhaitée et recommande notamment de promouvoir l'indépendance de gestion des chemins de fer, ainsi que leur assainissement financier.

L'objectif ici était de voir si la politique ferroviaire européenne a atteint les objectifs escomptés. Pour ce faire nous avons mené une analyse comparative des performances sur un échantillon de quatre compagnies, la DB, les FS, la RENFE et la SNCF, observées entre 1990 et 2012. Les indicateurs sollicités visent à appréhender la performance productive, économique, commerciale et financière de ces quatre compagnies.

Les tableaux 2 et 3 contiennent les principaux résultats de cette recherche. Il ressort de nos résultats que :

a) Le contexte de l'activité ferroviaire est donné par l'évolution de l'offre exprimée en trains km. Au total, le marché ferroviaire croit assez peu sur la période, avec 12 % de plus en 2012 comparé à 1990. Cette progression européenne est quasi exclusivement redevable de la progression soutenue de la DB (+40 %).

b) L'évolution de l'offre ferroviaire totale dissimule un fort contraste entre une expansion du trafic de voyageurs et un déclin du fret : plus 33,5 % pour le premier, contre -37,1 % pour le second entre 1990 et 2012. Pour le fret, seule la DB maintient le volume de son trafic sur la période. Et pour le trafic voyageur, l'offre des FS est même inférieure en 2012 à celle de 1990 (-4,2 %).

c) La productivité physique du travail s'inscrit dans un puissant trend de hausse depuis 1990 (+79 % en moyenne), amorcé bien avant. De fortes disparités différencient les entreprises ferroviaires. La SNCF se distingue par sa faible progression (seulement + 36 %).

d) La structure des charges s'est sensiblement modifiée, avec une diminution de la part des charges de personnel au profit des charges externes. La SNCF se distingue par une quasi-stabilité de la proportion des charges de personnel sur toute la période.

e) Le coût par train km, bon indicateur de l'efficience économique, connaît lui aussi un fort contraste. Entre 1990 et 2012, la DB, la SNCF et la RENFE voient leur coût

unitaire fortement augmenter (respectivement, +71 %, +61 % et +85 %), à l'inverse de la situation des FS (-10 %).

f) La recette par train km, estimateur de l'efficience commerciale, s'est sensiblement améliorée en moyenne (de 0,12 € à 0,18 €, + 50 %). Cette performance présente de forts contrastes entre d'une part la DB (+111 %), la RENFE (+104 %) et la SNCF (+90 %), pour qui la hausse est significative et globalement continue, et d'autre part les FS, pour qui la recette moyenne est à peine supérieure à celle réalisée en fin de période à 1990 (+18 %).
g) Le taux de remplissage, autre bon indicateur de la performance commerciale, est en progrès, tout particulièrement pour le trafic de fret (doublement), et dans une bien moindre mesure pour le trafic de voyageurs (+2,2 %).
h) Le ratio d'exploitation s'est amélioré pour l'ensemble des 4 compagnies, de l'ordre de 17 % en moyenne en 2012, base 100 en 1990. En 2012, le résultat d'exploitation est en général légèrement positif, ce qui n'était pas le cas en 1990.
i) Inversement, la viabilité financière approchée par le taux d'endettement ne s'est généralement pas améliorée. Seules les FS se sont sensiblement désendettées.

Au total, au regard de ces indicateurs et des trajectoires des 4 majors, la situation est aujourd'hui très contrastée et les performances des EF sont en moyenne meilleures qu'en 1990. Nous sommes pour autant encore loin des ambitions nourries par la Commission européenne d'un véritable renouveau de l'industrie ferroviaire en Europe.

Néanmoins, nous devons reconnaître que notre étude porte ici sur un échantillon réduit d'exploitants ferroviaires qui n'intègrent pas les nouveaux entrants, dont les performances pourraient être bien différentes. Pour cette raison, un bilan des performances ferroviaires par pays ne peut pas être effectué au regard de la situation du seul opérateur historique. De surcroît, nous avons opté, par commodité, pour une approche assimilant les trafics de voyageurs et fret. Il serait souhaitable pour l'analyse, de distinguer les deux trafics, leur dynamique étant spécifique [(Kearney, 2009; Laroche, 2013; Laroche et al., 2016)]. Enfin, il reste à savoir, et cela est essentiel, si la situation constatée est réversible et si les causes en sont internes ou externes au ferroviaire.

Chapitre 2
Frontières de production et mesure des performances : approche théorique et résultats empiriques

Introduction

Dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, l'économie industrielle s'est développée autour du paradigme SCP (Structure – Comportement - Performance) mis en œuvre par E. Mason et J. Bain. Ce paradigme répondait aux insuffisances de la microéconomie traditionnelle face à l'explication de la performance des entreprises. Selon le paradigme traditionnel proposé par l'école de Harvard, les caractéristiques structurelles du marché orientent les comportements des entreprises qui impactent leurs performances. Il existait donc une relation de causalité univoque de la performance sur le comportement et du comportement vers la structure. Depuis, le champ d'analyse en la matière s'est élargi et s'est diversifié. L'entrée en jeu de nouvelles théories fondées sur la microéconomie moderne permet de mieux appréhender et analyser les problèmes liés à l'efficacité productive des organisations (Tirole, 1993).

Au fil des années, la question de la performance des entreprises, et donc de sa mesure est devenue un thème récurrent. Selon Pesqueux (2004), la notion de performance est polysémique, elle peut être considérée comme attracteur étrange dans sa capacité à absorber plusieurs traductions : économique (compétitivité), financière (rentabilité), juridique (solvabilité), organisationnelle (efficience) ou encore sociale. Dans l'industrie du ferroviaire, les performances constituent depuis longtemps une source d'interrogations.

Selon les objectifs à atteindre, plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour évaluer la performance des chemins de fer :

- L'efficacité technique qui désigne l'aptitude d'une compagnie à obtenir un maximum d'outputs avec un niveau donné de facteurs de production,

- L'efficacité allocative qui mesure la capacité d'une compagnie à utiliser ses inputs dans des proportions optimales étant donné leur prix relatif,

- L'efficacité d'échelle qui mesure l'aptitude d'une compagnie à faire baisser ses coûts de production pour une hausse de son niveau de production,

- L'efficacité économique qui prend en compte simultanément l'efficacité technique et l'efficacité allocative,

- et enfin l'efficacité commerciale qui mesure l'aptitude des chemins de fer à attirer le maximum d'usagers.

L'objectif de ce chapitre est donc d'exposer le cadre théorique dans lequel s'inscrit l'analyse de la performance. Les fondements théoriques de la performance en particulier ceux de l'efficacité productive seront analysés dans une première section. Les instruments de l'analyse de la performance seront présentés dans une deuxième section tandis que la troisième section sera consacrée à la revue de la littérature sur le sujet.

2.1. Les fondements théoriques de la performance productive

Selon la théorie néoclassique, le marché, par le biais de la « main invisible », permet d'utiliser de façon optimale et efficiente toutes les ressources rares disponibles dans l'économie. Il conduit ainsi le système économique à la frontière des possibilités de production. Dans cette perspective les études sur l'efficacité technique ou économique n'auraient pas de raison d'être puisque le producteur est supposé rationnel et capable de maximiser son profit. Par conséquent chaque producteur se trouverait toujours sur la frontière de production ou sur la frontière de coût.

Selon les théories néoclassiques modernes, les producteurs ne se situent jamais, du moins dans la majorité des cas, sur la frontière de production ou de coût. Pour le montrer nous nous concentrerons ici sur la théorie de l'inefficacité X de (Leibenstein, 1966).

Le concept de l'inefficacité X a été développé en 1966 par Leibenstein pour prendre en compte le fait que certaines inefficacités ne résultent pas uniquement d'un défaut d'allocation des ressources des facteurs de production. C'est notamment le cas de l'inefficacité liée à la motivation du personnel ou à une mauvaise organisation de l'entreprise. L'analyse de Leibenstein débute avec la remise en cause de l'approche de la notion d'efficacité telle que développée par la théorie microéconomique conventionnelle. Celui-ci fait remarquer qu'à travers le postulat selon lequel le marché alloue de manière optimale les ressources, les facteurs de production, entre firmes et secteurs, la théorie traditionnelle n'analyse qu'un seul type d'efficacité : l'efficacité allocative.

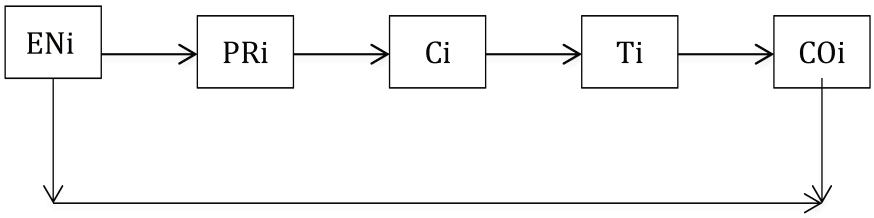
En se fondant sur des recherches empiriques antérieures, Leibenstein conclut que les entreprises disposant de la même composition de main-d'œuvre (facteur travail) et de la

même technologie (facteur capital) peuvent parvenir à des performances inégales en termes de productivité des hommes et de qualité d'outputs obtenus. C'est ce constat qui a amené l'auteur à dire qu'il existe un facteur X, différent des facteurs de production traditionnels (capital et travail), qui explique l'efficience ou l'inefficience des firmes. Pour lui, il existe trois raisons qui peuvent justifier l'inefficacité d'une entreprise :

- Le premier facteur est la motivation liée aux conditions générales de travail. Par exemple, pour deux entreprises à caractéristiques identiques (même technologie, même qualité et quantité de la main-d'œuvre), les écarts de performances pourraient s'expliquer si l'on considère que « les contrats de travail sont incomplets, certaines machines complexes dont les spécifications (en termes de production) sont fixes, génèrent des performances en fonction de leur emploi respectif… Il est généralement rare que tous les éléments de performance soient considérés par le contrat de travail ».

- La deuxième raison qui peut justifier le degré d'inefficacité d'une entreprise c'est que sa fonction de production soit inconnue ou que cette fonction soit mal spécifiée.

- La troisième raison est que dans une économie, tous les inputs ne sont pas commercialisés ou, même s'ils le sont, les conditions d'accès à ces inputs ne sont pas identiques pour toutes les entreprises. Leibenstein matérialise cette relation causale comme suit :



Avec:

ENi : l'environnement dans lequel l'entreprise évolue, qui peut être soit concurrentiel soit monopolistique

PRi : variable représentative du niveau de pression dans l'entreprise i

Ci : choix de l'effort au sein de l'entreprise i

Ti : variable représentative de la technologie de production

COi : coût de production unitaire.

2.1.1. L'analyse microéconomique de la performance

2.1.1.1. Définition des concepts

- L'efficacité productive et l'efficacité technique.

L'origine du terme « efficacité » est à retrouver dans les travaux de Debreu (1951) ; Farrell (1957) ; Koopmans (1951). Koopmans (1951) fut le premier à proposer une mesure de l'efficacité tandis que les premières études empiriques sont attribuées à Debreu (1951). Pour Koopmans (1951), la notion d'« efficacité » s'identifie à celle de l'efficacité technique. Pour cet auteur, un producteur sera dit techniquement efficace si une augmentation d'un output entraîne une réduction d'au moins un autre output, ou une augmentation d'au moins un input. Dans le même ordre d'idée, un producteur sera dit techniquement efficace si une réduction d'un input entraîne une augmentation d'au moins un autre input ou une réduction d'au moins un output.

Cette définition fut largement critiquée dans la littérature sur le sujet, notamment par Farrell (1957) et plus tard par Charnes et al. (1985). Pour ces deux auteurs, l'efficacité technique telle que proposée par Koopmans (1951), est assez relative puisqu'elle permet seulement de comparer un producteur par rapport à d'autres producteurs. Cette définition permet d'identifier une unité de production efficace par rapport à une unité de production inefficace mais elle ne donne aucune indication sur le degré d'inefficacité.

(Debreu, 1951) Utilise la notion de coefficient d'utilisation des ressources pour proposer une définition de l'efficacité technique. Pour lui, l'efficacité technique est déterminée par la proportion d'inputs que l'on pourrait réduire ou la proportion d'outputs que l'on pourrait accroître. Autrement dit, du point de vue des inputs, l'efficacité technique détermine les proportions d'inputs qu'une firme peut réduire tout en gardant inchangé le niveau d'outputs. Par contre du point de vue des outputs, l'efficacité technique mesure les proportions des outputs que la firme pourrait accroître avec le même niveau d'inputs. La mesure proposée par Debreu (1951), est qualifiée de radiale puisqu'elle est fondée soit sur les proportions maximales d'inputs à réduire, soit sur les proportions maximales d'outputs à accroître.

Appliquée aux chemins de fer, cette définition nous indique que, du point de vue des inputs, l'efficacité productive détermine les proportions des inputs que les chemins de fer pourraient réduire tout en gardant inchangé le niveau d'outputs, évalué par exemple en trains km. Du point de vue des outputs, l'efficacité productive permet de déterminer les proportions d'outputs que les chemins de fer pourraient accroître avec un même niveau d'inputs.

L'efficacité technique peut être appréhendée de la même façon. Du point de vue des inputs, elle détermine la proportion des inputs que les chemins de fer peuvent réduire tout en gardant inchangé le niveau d'outputs évalué en tonnes-km ou voyageurs km tandis que du point de vue des outputs, l'efficacité technique détermine les proportions d'outputs évaluées en tonnes-km et voyageurs-km que les chemins de fer pourraient accroître avec le même niveau d'inputs.

En économie, la notion d'efficacité est liée à l'optimum de Pareto puisqu'un vecteur d'inputs-outputs sera dit Pareto optimal s'il n'existe pas de possibilité d'accroître les outputs ou de réduire les inputs. La mesure de l'efficacité de Pareto-Koopmans a fait l'objet de plusieurs études, notamment les travaux de Färe (1975), Färe and Knox Lovell (1978) ; Robert Russell (1990, 1985) ; Russell (1988).

- L'efficacité allocative.

Elle reflète la capacité d'une entreprise à utiliser ses inputs dans des proportions optimales étant donné leurs prix respectifs.

La figure 2-1 permet de mieux appréhender ces deux concepts pour le cas où la firme utilise deux inputs de production (x_1 et x_2). TT', représente l'isoquant de production et AA' l'isocoût.

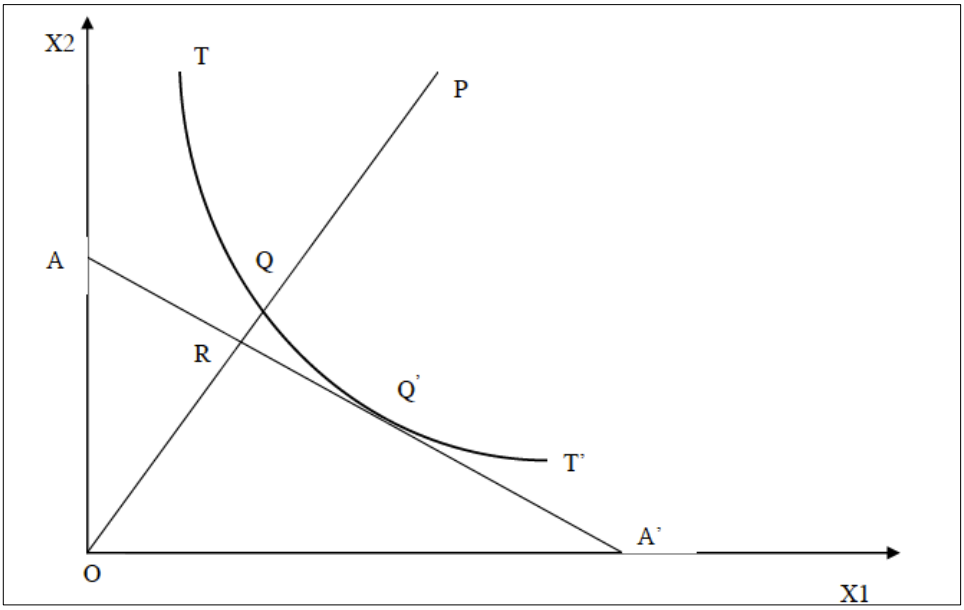


Figure 2-1 : **Mesure de l'efficacité technique et allocative**
Sources : Farrell, M.J (1957)

Dans cette figure nous pouvons constater qu'au point P, l'inefficacité est donnée par le segment QP. Ainsi il est possible pour la firme représentée par le point P de produire le même niveau d'outputs avec une diminution de tous les inputs dans la proportion QP/OP. Farrell

(1957) propose donc de mesurer le degré d'inefficacité par le rapport QP/OP, qui varie entre zéro et l'unité. Tous les points situés sur l'isoquant TT' sont dits techniquement efficaces. L'isoquant TT' est aussi appelé frontière d'efficacité technique.

Une combinaison de facteur est dite allocativement optimale si le taux marginal de substitution est égal au rapport des prix. Ainsi tous les points situés sur l'isocoût AA', sont dits allocativement efficaces. Pour les points P et R, le niveau d'inefficacité allocative peut être donné par le rapport OR/OQ. Notons que RQ représente la réduction de coût si la production correspondait au point Q'. Ce dernier est efficient du point de vue allocatif puisqu'il appartient à l'isocoût AA', et d'un point de vue technique puisqu'il appartient à l'isoquant TT'. Le produit de l'efficacité technique et allocative est appelé efficacité totale Farrell (1957). Ainsi, dans la définition de l'efficacité, Farrell (1957) dissocie ce qui est d'origine technique (efficacité technique) de ce qui résulte d'un mauvais choix par rapport au prix des inputs (efficacité allocative).

2.2. Les instruments d'analyse des performances productive

La mesure des performances productives repose essentiellement sur l'estimation d'une frontière de production dont les premiers travaux sont attribués à Farrell (1957). Celui-ci part de l'idée que les informations disponibles sur une activité donnée devraient permettre l'estimation du « *best practice enveloppe* » pour cette activité. C'est ainsi qu'est née la méthode des frontières qui allait cependant trouver son essor vingt années plus tard avec les travaux publiés par Aigner et al (1977), Meeusen and van Den Broeck (1977) et par Charnes, Cooper, and Rhodes (1978). Deux grandes familles de méthodes sont généralement utilisées pour construire les frontières et mesurer les performances. Il s'agit des méthodes paramétriques et des méthodes non paramétriques (voir figure 2-2). Les frontières paramétriques attribuent une forme fonctionnelle particulière à la fonction de production, à la fonction de coût ou à la fonction de profit, par contre les frontières non paramétriques n'attribuent aucune forme fonctionnelle. Nous n'allons pas développer dans ce travail l'approche non paramétrique, puisqu'elle ne sera pas utilisée dans la suite. Néanmoins il est important de noter que certains auteurs utilisent les deux approches à des fins de comparaison.

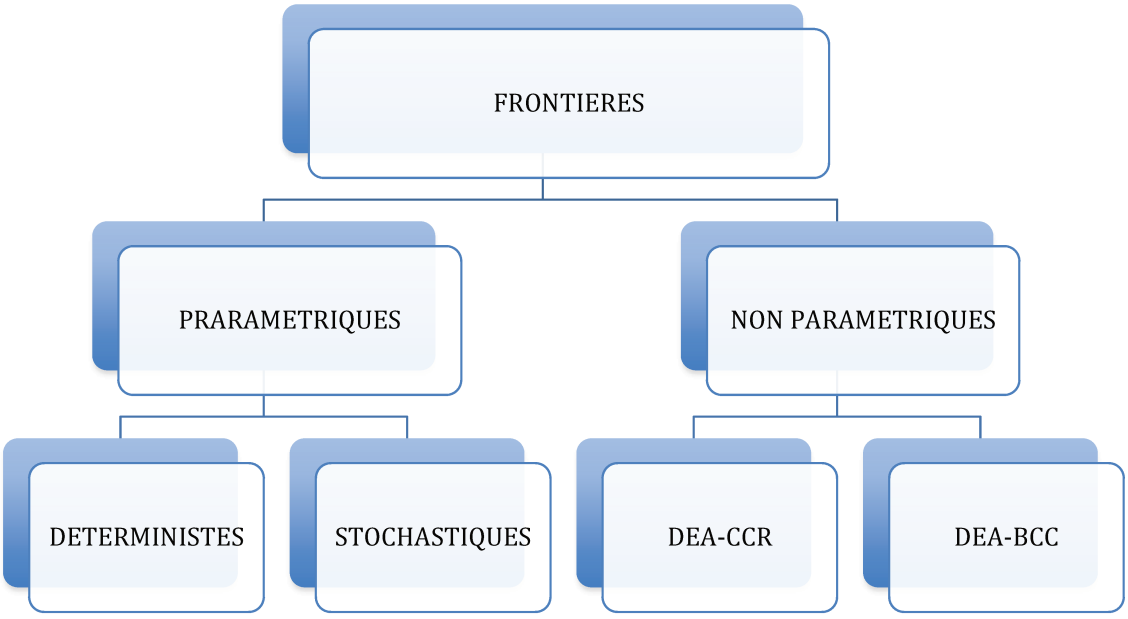


Figure 2-2 : les familles des frontières
Sources : auteur

2.2.1. Les frontières paramétriques

La principale caractéristique des modèles de frontières réside dans le fait qu'ils imposent une forme fonctionnelle particulière à la fonction à étudier. Pour faciliter la compréhension, nous limiterons notre analyse à la présentation des modèles des frontières, aux hypothèses et enfin aux techniques d'estimation qui peuvent être mobilisées pour estimer ces différents modèles.

2.2.1.2. Modélisation des frontières paramétriques.

a. Cas d'un output

Soit une compagnie i qui utilise k inputs pour produire un output Y. La frontière de production peut s'écrire comme suit :

Équation 2-1 : frontière de production

$$Y_i = f(X, \beta) e^{\varepsilon_i}$$

Avec : X, le vecteur des k inputs, β le vecteur des paramètres de la frontière et ε le terme qui mesure l'écart entre l'output observé Y et l'output maximal réalisé par la technologie efficace (l'output estimé par la frontière), f (.) la technologie ou la fonction de production vérifiant les propriétés suivantes :

- f (.) est définie de R^+ vers R^+
- f (.) est une fonction concave
- f (.) est dérivable par rapport à chaque input d'où l'expression : $\frac{\partial f}{\partial x} > 0$

Si l'on suppose que la firme contrôle parfaitement son processus de production, ce qui signifie que les facteurs purement aléatoires tels que les erreurs de mesures ou les chocs accidentels ne sont pas pris en compte dans la modélisation, alors le niveau d'inefficacité (u) est donné par le terme ε. L'équation peut donc s'écrire comme suit.

Équation 2-2 : Modèle de frontière déterministe

$$Y_i = f(X, \beta) e^{-u_i}$$

Dans cette équation, u_i représente le terme d'inefficacité, on lui associe un signe négatif parce que le degré d'inefficacité aura pour objectif de réduire le niveau de production. L'équation 2-2 porte ainsi le nom de modèle de frontière paramétrique et déterministe puisque l'inefficacité résulte par exemple d'une mauvaise gestion, d'un mauvais choix de technologie ou d'un personnel incompétent.

Si en plus de l'inefficacité technique, la compagnie prend en compte l'existence des chocs aléatoires, alors l'équation 2-1 devient :

Équation 2-3 : Modèle de frontière stochastique

$$Y_i = f(X, \beta) e^{v_i - u_i}$$

Théoriquement, le recours au modèle de frontière stochastique permet d'isoler le terme d'erreur purement aléatoire (v_i) de celui reflétant l'inefficacité technique des entreprises (u_i). L'équation 2-3 porte le nom de modèle de frontière stochastique. Dans cette approche, la performance d'une firme dépend de son niveau d'efficacité technique c'est-à-dire de l'ensemble des facteurs qui sont imputables aux erreurs de gestion et des phénomènes aléatoires non contrôlables tels que les grèves, incendies, pannes de machines…, qui différent d'une firme à une autre [(El Arbi Chaffai, 1989)]. Le développement des modèles de frontière stochastique est attribué à Aigner et al. (1977) et à Meeusen and van Den Broeck (1977).

Comme on l'a mentionné plus haut, les modèles des frontières paramétriques supposent que l'on attribue une forme fonctionnelle particulière à la fonction de production. La forme la plus utilisée est la fonction translog puisqu'elle est facile à calculer, elle permet

d'imposer les conditions d'homogénéité et en plus elle est flexible. Suivant cette approche, les équations 2-2 et 2-3 pourraient respectivement se réécrire comme suit :

Équation 2-4 : **frontière paramétrique déterministe (translog)**

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{K} \beta_j x_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{K} \sum_{k=1}^{K} \beta_{jk} x_{ij} x_{ik} - u_i$$

et

Équation 2-5 : **frontière paramétrique stochastique (translog)**

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{K} \beta_j x_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{K} \sum_{k=1}^{K} \beta_{jk} x_{ij} x_{ik} + v_i - u_i$$

Les équations 2-5 et 2-4 supposent que les firmes utilisent K inputs pour produire un output, elles sont donc identiques aux fonctions de production translog. Si cette approche peut être utilisée pour évaluer l'efficacité de certaines industries, pour l'industrie ferroviaire elle semble difficile à appliquer puisque dans cette industrie, on compte en moyenne deux outputs, qui correspondent à l'activité transport de voyageurs et à l'activité transport de marchandises. Néanmoins certains auteurs (Friebel et al., 2005), ont utilisé cette approche en supposant que l'output Y peut s'écrire comme une combinaison linéaire du nombre de voyageurs-km et du nombre de tonnes-km.

b. Cas de plusieurs outputs.

Pour remédier aux limites des modèles précédents, (Shephard, 1970) a proposé une nouvelle approche qui est fondée sur l'estimation d'une fonction distance. Cette fonction permet ainsi de modéliser les technologies multi-produits et multi-inputs. On distingue deux grandes familles de fonction distance [(Färe and Primont, 1995)]. La fonction distance orientée input et la fonction distance orientée output. L'estimation de la fonction distance orientée input permet de répondre à la question suivante ; « *Dans quelles proportions une unité de décision peut-elle réduire ses inputs de production tout en gardant inchangé son niveau d'output ?* D'où la relation suivante :

Équation 2-6 : **Fonction distance orientée inputs**

$$D_I(x, y) = \max\left\{\rho : \left(x / \rho\right) \in L(y)\right\}$$

Avec L (y), l'ensemble de vecteurs inputs, $x \in R_+^k$, qui permet de produire le vecteur output, $y \in R_+^M$. Soit : $L(y) = \{x \in R_+^k : x\ peut\ produire\ y\}$. D_I (x, y) est une fonction homogène,

linéaire, concave en x et quasi concave en y. Elle est également une fonction croissante en x et décroissante en y. On peut donc constater que si x ∈ L (y) alors $D_I(x, y) \leq 1$, tandis que si x appartient à l'ensemble L (x), c'est-à-dire à l'isoquant de y alors.$D_I(x, y) = 1$.

Dans le même ordre d'idées, l'estimation de la fonction distance orientée output permet de répondre à la question suivante : *Dans quelle proportion maximale une unité de décision peut-elle augmenter son niveau de production tout en gardant inchangé le niveau des inputs ?* Ce qui peut se traduire comme suit :

Équation 2-7 : **Fonction distance orientée output**

$$D_O(x, y) = \min\left\{\theta : \left(y/\theta\right) \in P(x)\right\}$$

Avec P (x), l'ensemble de tous les vecteurs d'outputs, $y \in R_+^M$, qui peuvent être obtenus en utilisant le vecteur d'input $x \in R_+^k$. D_O (x, y) est une fonction positive, homogène, linéaire et croissante en y. Par contre elle est une fonction décroissante en x (Lovell et al., 1994). Ainsi, $D_0(x, y) \leq 1$ si y appartient à l'ensemble des possibilités de production c'est-à-dire [$D_0 \leq 1\ si\ \ y \in\ P\ (x)$] et $D_0(x, y) = 1$ si y appartient à la frontière des possibilités de production P (x) (voir figure 2-3).

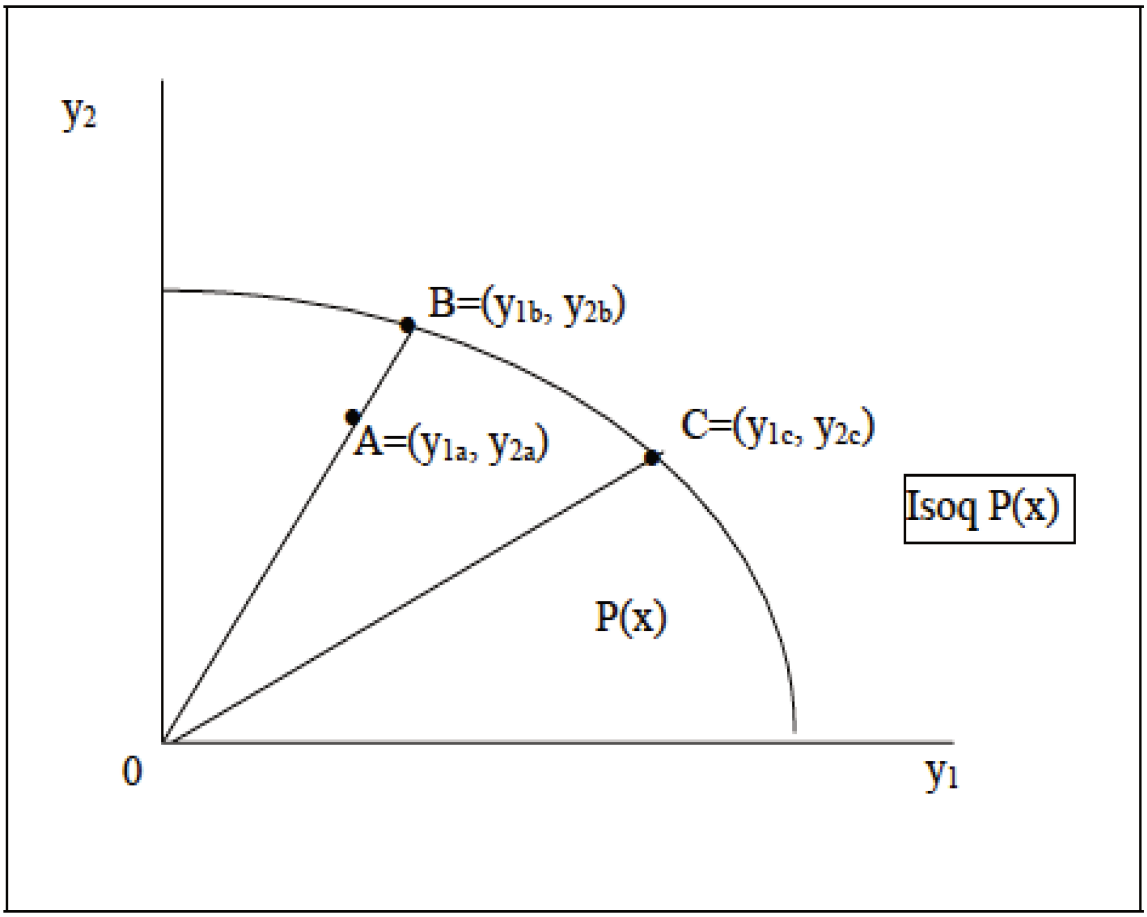


Figure 2-3 : **Fonction distance orientée output et ensemble de production**
Source : (Coelli and Perelman, 2000)

Si l'on suppose que les compagnies utilisent K inputs pour produire M outputs et que la technologie peut être représentée par une fonction translog alors, de façon générale, la fonction distance translog peut s'écrire comme suit :

Équation 2-8 : **Forme générale d'une fonction distance translog**

$$\ln D_i = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m \ln y_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k \ln x_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} \ln y_{mit} \ln y_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} \ln x_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} \ln x_{kit} \ln y_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K} \gamma_{1k} T \ln x_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T \ln y_{mit}$$

Avec T qui représente la variable de temps.

Comme les fonctions distances sont homogènes, nous pouvons écrire D (φ x, y) = φ D (x, y). Suivant la recommandation de Lovell et al. (1994), le facteur multiplicateur φ peut prendre la valeur $1/x_k$ ou $1/y_m$ avec x_k l'input numéro k et y_m, l'output numéro m.

- Pour $\varphi = 1/x_k$, on peut écrire $D(x/x_k, y) = D(x, y)/x_k$. Si l'on remplace D_i de l'équation 2-8 par cette dernière relation, alors la fonction distance devient :

Équation 2-9 : **Fonction distance orientée input (translog)**

$$lnD - lnx_k = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m lny_{mit} + \sum_{k=1}^{K-1} \beta_k lnx^*_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} lny_{mit} lny_{mit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1} \beta_{kl} lnx^*_{kit} \ln x^*_{kit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} lnx_{kit} lny_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx^*_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T lny_{mit}$$

Avec$x^*_{it} = x_{it}/x_{kit}$

- De même, si l'on pose **φ=** $1/y_m$ alors l'équation 2-8 devient :

Équation 2-10 : **Fonction distance orientée output (translog)**

$$lnD - \ln y_m = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m lny^*_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k lnx_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M-1}\sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} lny^*_{mit} lny^*_{mit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} lnx_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} lnx_{kit} lny^*_{mit} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx_{kit} + \sum_{m=1}^{M-1} \phi_{1m} T lny^*_{mit}$$

Avec$y^*_{it}\ y_{it}/y_{mit}$

Il est important de remarquer que dans les équations 2-9 et 2-10, *lnD* n'est pas observable. Par conséquent, l'écriture d'un modèle de frontière déterministe ou stochastique dépend de l'hypothèse faite sur le terme *lnD.*

- Si l'on suppose que *lnD* est un terme d'erreur aléatoire (*lnD* = u*)* alors les équations 2-9 et 2-10, deviennent des modèles de frontières déterministes qui peuvent être estimées par la technique des moindres carrés corrigés, que nous présenterons brièvement dans la section suivante. Ces équations peuvent donc se réécrire comme suit :

Équation 2-11 : **Frontière de production déterministe orientée input et à technologie translog**

$$-lnx_k = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m lny_{mit} + \sum_{k=1}^{K-1} \beta_k lnx^*_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} lny_{mit} lny_{mit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1} \beta_{kl} lnx^*_{kit} \ln x^*_{kit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} lnx_{kit} lny_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx^*_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T lny_{mit} - u_{it}$$

Équation 2-12 : **Frontière de production déterministe orientée output et à technologie translog**

$$-\ln y_m = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m lny^*_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k lnx_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M-1}\sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} lny^*_{mit} lny^*_{mit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} lnx_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} lnx_{kit} lny^*_{mit} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx_{kit} + \sum_{m=1}^{M-1} \phi_{1m} T lny^*_{mit} - u_{it}$$

Dans ces deux équations, $u_i \sim > N\ (\mu, \sigma_u)$

- Enfin si l'on suppose que *lnD* peut s'écrire comme la somme des erreurs ($-lnD = v_{it} - u_{it}$) avec $v_{it} et\ u_{it}$, qui représentent respectivement le terme d'erreur et le terme

d'inefficacité. Ainsi les équations 2-9 et 2-10 prennent le nom de modèle de frontières stochastiques que l'on peut estimer grâce à la technique du maximum de vraisemblance. Ces équations peuvent donc se réécrire comme suit :

Équation 2-13 : **Frontière de production stochastique orientée input à technologie translog**

$$-lnx_k = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m lny_{mit} + \sum_{k=1}^{K-1} \beta_k lnx^*_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} lny_{mit} lny_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1} \beta_{kl} lnx^*_{kit} \ln x^*_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} lnx_{kit} lny_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx^*_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T lny_{mit} + v_{it} - u_{it}$$

Équation 2-14 : **Frontière de production stochastique orientée output à technologie translog**

$$-\ln y_m = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m lny^*_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k lnx_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M-1}\sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} lny^*_{mit} lny^*_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} lnx_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} lnx_{kit} lny^*_{mit} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx_{kit} + \sum_{m=1}^{M-1} \phi_{1m} T lny^*_{mit} + v_{it} - u_{it}$$

2.2.1.2. Les techniques d'estimation

Deux techniques sont généralement utilisées pour estimer les modèles de frontières paramétriques. La technique des moindres carrés corrigés qui est plus adaptée pour l'estimation des frontières déterministes et la technique du maximum de vraisemblance qui est plus adaptée pour l'estimation des frontières stochastiques.

a. Les moindres carrés corrigés (MCC)

Rappelons que dans un modèle déterministe, il existe un seul et unique terme d'erreur u_i qui représente le niveau d'inefficacité. Ce terme d'erreur suit une loi normale de moyenne positive [$E(u) = \mu$] et de variance δ_u^2 finie. La méthode des MCC consiste dans une première étape, à estimer la fonction distance translog par la technique des moindres carrés ordinaires (MCO). Dans cette première étape, on ne tient pas compte de l'existence d'inefficacité. Dans une seconde étape, pour passer à la frontière de production, on corrige le terme constant de la frontière déterministe en utilisant les moments des résidus des moindres carrés obtenus à l'étape 1 et ensuite on réestime la nouvelle équation par les moindres carrés.

En effet dans la première étape, trois hypothèses sont généralement formulées. Les MCO supposent que :

- Les x_i sont indépendants du terme d'erreurs,
- Les termes d'erreurs sont identiquement et indépendamment distribués,

– Les x_i sont observés sans erreur de mesure [voir (Greene, 1980, p. 31) pour plus de détails]. Sous ces trois hypothèses, l'utilisation des MCO à l'étape 1 permet d'obtenir des estimateurs sans biais et convergents pour tous les paramètres à l'exception de la constante α_0. Pour remédier à cela, Richmond (1974) propose de corriger le terme constant par les moments du terme u. Ainsi on peut écrire : $\alpha_0'\alpha_0 - \mu$ et$u_i'\mu - u_i$ avec $\mu = E$ (u). La seconde étape des MCC consiste donc à estimer par la technique des MCO la nouvelle frontière déterministe dans laquelle le terme d'erreur et la constante sont remplacés respectivement par u_i'et α_0'

b. Le maximum de vraisemblance.

L'estimation des équations 2-13 et 2-14 par la technique du maximum de vraisemblance nécessite des hypothèses sur la loi du terme d'erreur (v_{it}) et sur la loi du terme d'inefficacité (u_{it}). Les hypothèses généralement retenues sont les suivantes :

i. Les variables u_{it} et v_{it} sont indépendantes
ii. Les variables, v_{it} sont identiquement et indépendamment distribuées suivant une loi normale de moyenne nulle de variance finie (… $v_{it} \sim > N\ (\mu, \sigma_v)$
iii. Les variables u_{it} sont identiquement et indépendamment distribuées suivant une loi semi-normale de moyenne nulle et de variance constante. $u \rightarrow |N(0, \sigma_u^2)|$

Pour une écriture de la fonction de vraisemblance, les hypothèses suivantes doivent être formulées.

iv. $f_{u_i v_i}(v_i, u_i) = f_v(v_i) f_u(u_i)$: la densité jointe est égale au produit des densités
v. $f_{\varepsilon,u}(\varepsilon_i, u_i) = f_u(u_i) f_v(\varepsilon_i + u_i)$ avec $\varepsilon_i v_i + u_i$

Avec ces deux hypothèses, la densité margine de $\varepsilon_i$est donnée par la relation suivante :

$$f_{\varepsilon,}(\varepsilon_i) = \int_0^{+\infty} f_u(u_i) f_v(\varepsilon_i + u_i) du_i$$

Sous toutes ces conditions, le logarithme de la fonction de vraisemblance peut s'écrire comme suit :

$$lnL_i(\alpha, \beta, \sigma_u^2, \sigma_v^2 | lnY_i, X_i) = \ln f_{\varepsilon,}(Y_i - \alpha - \beta^T X_i | \sigma_u^2, \sigma_v^2)$$

La forme concrète de l'équation (12) dépend de la distribution faite sur les termes u et v. Les distributions les plus utilisées pour u sont : la loi semi-normale, la loi normale tronquée autour d'une valeur différente de zéro, la loi exponentielle, la loi gamma. Pour le terme v, on utilise généralement la loi normale centrée en zéro et de variance constante.

Nous allons dans la suite écrire la vraisemblance d'un modèle de frontière stochastique pour lequel u suit une loi semi-normale de moyenne nulle et de variance constante tandis que v suit

une loi normale centrée de moyenne nulle de variance constante. Greene (2008, pp. 28–29) donne plus de détails en ce qui concerne l'utilisation des autres lois.

Si $u \rightarrow |N(0, \sigma_u^2)|$ et $v \rightarrow N\ (0, \sigma_v^2)$ alors la densité jointe de u et v est donnée par :

$$f(u,v) = \frac{1}{\pi\sigma_u\sigma_v} exp[-(u^2/2\sigma_u^2) - (v^2/2\sigma_v^2)]$$

Si l'on remplace v en fonction de u et ε on obtient la relation suivante :

$$f(u,\varepsilon) = \frac{1}{\pi\sigma_u\sigma_v} exp[-(u^2/2\sigma_u^2) - (\varepsilon^2 + u^2 + 2u\varepsilon)/2\sigma_v^2)]$$

La densité de ε (f (ε)) qui est donnée par l'intégrale de $f(u,\varepsilon)$par rapport à u pourra s'écrire comme suit :

$$f(\varepsilon)\left(\frac{2}{\sigma}\right) f^*(\frac{\varepsilon}{\sigma})\left[1 - F^*(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma})\right]$$

Avec :

$-\infty \leq \varepsilon \leq +\infty, \sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ et $\lambda\, \sigma_u/\sigma_v$

FA*(.) désigne la fonction de répartition d'une distribution normale centrée réduite et f*(.) sa densité. Le logarithme de la vraisemblance de l'équation 2-10 peut alors s'écrire comme suit :

Équation 2-15 : **Logarithme népérien de la fonction de vraisemblance**

$$\ln L(Y/\Phi,\lambda,\sigma^2) = N\ln\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} + N\ln\sigma^{-1} + \sum_{i=1}^{N}\ln\left[1 - F^*(\varepsilon_i,\lambda,\sigma^{-1})\right] - \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_i^2$$

La maximisation sans contrainte de l'équation 2-15 nous permet d'obtenir les valeurs des paramètres $\beta, \lambda\ et\ \sigma$. Le calcul des dérivées premières par rapport au vecteur Φ (vecteur de tous les paramètres à estimer) et par rapport aux deux paramètres λ et σ^2 et l'annulation de ces dérivées, conduit à l'obtention des estimateurs correspondants qui sont solution du système des équations de vraisemblance qui devront être résolues au moyen d'un algorithme d'optimisation. Pour plus de détails sur cette étape voir Greene (2005) et Porcelli (2009).

2.2.2. Mesure de la productivité totale des facteurs et ses composants.

Définie comme le ratio output/input, la productivité totale permet de mesurer la croissance de productivité d'une industrie ou d'un pays entre deux périodes données, elle est fonction du changement d'efficacité technique et peut être évaluée par l'indice de Malmquist (Färe et al., 1994). Le calcul de cet indicateur permet aux compagnies les moins performantes

de suivre le rythme des leaders en matière d'innovation et d'amélioration de l'efficacité technique (Nodjitidjé, 2011).

Fondé essentiellement sur la programmation linéaire, l'indice de Malmquist est calculé empiriquement en termes de fonction distance en comparant l'output obtenu en période t avec les inputs de cette période à l'output obtenu en période t avec les inputs de la période t + 1. On comprend qu'à l'origine, l'indice de Malmquist est fondé essentiellement sur l'estimation d'une frontière non paramétrique. Avec le développement des modèles de frontières paramétriques, il est dorénavant possible de calculer la variation de la productivité des facteurs grâce aux coefficients estimés de la fonction distance. Dans cette approche, la variation de la productivité totale des facteurs peut être décomposée en trois facteurs qui sont le changement technologique, le changement d'efficacité technique et le changement d'efficacité d'échelle, d'où la relation suivante :

Équation 2-16 : **Décomposition de la variation de la productivité des facteurs**

$$TFP = TEC \times TC \times SEC$$

Avec :

TPF : variation de la productivité totale des facteurs

TEC : changement d'efficacité technique

TC : changement technologique

SEC : changement d'efficacité d'échelle.

Si l'on applique le logarithme népérien à l'équation 2-16, elle devient :

$$\ln TFP = \ln TEC + \ln TC + \ln SEC$$

a. Le changement d'efficacité technique (TEC).

Il est obtenu en comparant l'efficacité technique obtenue à la période t à l'efficacité technique obtenue à la période t + 1, d'où la relation suivante : $TEC = \frac{TE_{t+1}}{TE_t}$, sous la forme linéaire on obtient : $\ln TEC = \ln TE_{t+1} - \ln TE_t$. Avec : $TE = E\{\frac{\exp(-u_{it})}{v_{it}-u_{it}}\}$, le niveau d'efficacité technique.

b. Le changement de technologie

Il mesure la part d'efficacité occasionnée par l'introduction de nouveaux équipements ou de nouveaux procédés dans le processus de production. Cette variation est donc donnée par la moyenne arithmétique de la dérivée par rapport au temps du logarithme de fonction

distante. Le changement technologique peut donc être appréhendé par la vitesse moyenne de déplacement entre deux instants, t et t + 1. Il est donné par la formule suivante :

$$TC = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial \ln D_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln D_{it+1}}{\partial t}\right]$$

Si l'on suppose que la technologie est représentée par une fonction translog (voir équation 2-8) alors la dérivée de

$$\frac{\partial \ln D}{\partial t} = \lambda_1 + 2t\lambda_{11} + \sum_{k=1}^{K} \gamma_{1k} \ln x_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1k} \ln y_{mit}$$

c. Le changement d'efficacité d'échelle.

Notons que l'efficacité d'échelle détermine dans quelle mesure une institution fonctionne avec des rendements d'échelle croissants ou décroissants, ce qui permet de définir la taille optimale de l'entreprise. Cette notion est étroitement liée au coût de production. En effet on parle de rendements croissants ou économies d'échelle lorsque la production d'une unité supplémentaire s'accompagne d'une baisse du coût unitaire. Dans le cas contraire on parlera de rendements décroissants ou déséconomies d'échelle. Après l'estimation d'une fonction distance, le changement d'efficacité d'échelle est donné par la formule suivante :

$$SEC = \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\left[\left(SF_{it+1}\varepsilon_{mit+1} + SF_{it}\varepsilon_{mit}\right)\left(\ln y_{it+1} - \ln y_{it}\right)\right]$$

Avec ε_{mit}, l'élasticité de production et SF un facteur d'échelle qui sont calculés grâce aux formules suivantes :

$$\varepsilon_{mit} = \frac{\partial \ln D}{\partial y_{mit}} = \alpha_m + \sum_{m=1}^{M} \alpha_{mi} \ln y_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \delta_{ki} \ln x_{kit} + \phi_m t$$

$$SF = \frac{\varepsilon_{it} + 1}{\varepsilon_{it}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_{it} = \sum_{m=1}^{M} \varepsilon_{mit}$$

2.3. Analyse des performances des chemins de fer : un regard sur le passé.

Cette section a pour objectif de présenter une revue de la littérature, non exhaustive, des études portant sur l'évaluation de la performance productive des compagnies ferroviaires. Pour ce faire elle sera structurée comme suit : Dans une première sous-partie, nous

présenterons les résultats fondés sur l'estimation des frontières non paramétriques tandis que la seconde sous-partie sera consacrée à la présentation des résultats fondés sur l'estimation des frontières paramétriques.

2.3.1. Quelques résultats empiriques obtenus à l'aide des méthodes non paramétriques

Parmi les auteurs ayant utilisé cette approche pour évaluer l'efficacité et la productivité des chemins de fer on peut citer : Cantos et al. (1999) ; Kabasakal et al. (2013) ; Li and Hu (2011) ; Yu (2008). Le résumé de ces études est rapporté dans le tableau 2-1.

Pour analyser l'évolution de la productivité totale des facteurs des compagnies ferroviaires, Cantos et al. (1999) utilisent la technique de l'enveloppement des données (méthode DEA) pour estimer une fonction distance. Pour ces auteurs, l'analyse des composants de la variation de la productivité totale des facteurs est assez importante puisqu'une croissance significative de la productivité n'est pas seulement liée à une variation significative du niveau d'efficacité mais aussi à une croissance significative du progrès technique. L'analyse du progrès technique est donc importante pour les compagnies ferroviaires car la productivité est étroitement liée au niveau du développement technologique.

Les auteurs ont appliqué cette démarche à un panel de 17 compagnies ferroviaires européennes, observé entre 1970 et 1995. Les résultats montrent que sur la période étudiée, la croissance cumulée de la productivité totale des facteurs est estimée à 30 %. Cette hausse est principalement concentrée sur la période 1987-1995. Cette étude montre également qu'en moyenne, la croissance de la productivité est essentiellement déterminée par la croissance du progrès technique (+15 %) et non par une variation du niveau de l'efficacité technique. L'analyse temporelle montre qu'entre 1970 et 1980, les variations du progrès technique ont une contribution négative au calcul de la productivité totale, par contre entre 1980 et 1995, celles-ci contribuent positivement à la réalisation des gains de productivité. Ces auteurs soulignent que la contribution négative du progrès technique entre 1970 et 1980 peut se justifier par l'impact des facteurs externes sur le transport ferroviaire tels que le choc pétrolier de 1970, une altération des prix du carburant et une forte baisse sur cette période de la demande ferroviaire.

Pour Yu, (2008), le processus de production dans l'industrie ferroviaire comprend deux grandes étapes. La première étape met en relation les inputs de production et les outputs intermédiaires tels que le nombre de train-km de voyageurs et de marchandises. La seconde

étape met en relation les outputs intermédiaires et les outputs finals qui sont le nombre de tonnes-km et de voyageurs-km. Évaluer l'efficacité des compagnies revient donc à évaluer l'efficacité de chaque étape du processus.

Ce processus complexe de production permet à l'auteur de distinguer trois niveaux d'efficacité. L'efficacité productive, qui est obtenue à l'étape 1 et l'efficacité de consommation qui est obtenue à l'étape 2. Enfin le troisième niveau, l'efficacité technique, est obtenue par une mise en relation directe des inputs de l'étape 1 et des outputs de l'étape 2.

Cette structure a donc permis à l'auteur d'estimer à l'aide d'une méthode non paramétrique (la méthode de l'enveloppement des données) trois fonctions distance orientées inputs.

- La première fonction distance utilise comme input, le nombre de voitures de voyageurs, le nombre de wagons, la longueur des lignes et l'effectif de la compagnie. Les nombres de trains-km de marchandises et de voyageurs sont utilisés comme outputs.
- La deuxième fonction met en relation, le nombre de trains-km de marchandises et de voyageurs, utilisés comme inputs de production, alors que les outputs sont le nombre de tonnes-km et de voyageurs-km.
- La troisième fonction qui estime l'efficacité technique met en relation comme inputs, le nombre de voitures de voyageurs, le nombre de wagons, la longueur des lignes, l'effectif de la compagnie et comme outputs le nombre de tonnes-km et de voyageurs-km.

Cette méthodologie est appliquée à un échantillon constitué de 14 compagnies ferroviaires de l'Europe de l'Ouest, 15 compagnies de l'Europe de l'Est, 5 compagnies africaines et enfin 6 compagnies asiatiques. Les résultats montrent que, d'un point de vue de l'efficacité technique, les compagnies les plus performantes sont celles de l'Europe de l'Ouest. Par contre d'un point de l'efficacité commerciale, les compagnies africaines sont les plus performantes.

Pour évaluer l'efficacité et décomposer la productivité totale des compagnies ferroviaires chinoises, Li and Hu (2011) utilisent la méthode de l'enveloppement des données pour estimer plusieurs fonctions. Le modèle de recherche proposé par ces auteurs repose sur l'idée selon laquelle les opérations de transport ferroviaire se font principalement en trois étapes.

- Le processus de production au cours duquel les inputs de production sont transformés en outputs intermédiaires. À ce niveau, les auteurs ont estimé une

fonction de production orientée input à rendement constant, dans laquelle l'output est évalué par le nombre de locomotives-kilomètres. Comme inputs les auteurs ont retenu le nombre d'employés, la longueur du réseau, le capital immobilisé, le nombre de locomotives et le nombre de trains de voyageurs. L'efficacité obtenue est appelée efficacité de production.

- Le processus de consommation au cours duquel l'output intermédiaire (le nombre de locomotives-kilomètres) est transformé en deux produits à savoir le nombre de voyageurs-km et le nombre de tonnes-km. Étant donné la nature des variables impliquées dans ce processus, les auteurs ont choisi d'estimer une fonction distance orientée output pour évaluer l'efficacité de consommation.
- Le processus de revenu au cours duquel le nombre de voyageurs-km et le nombre de tonnes-km sont transformés respectivement en revenu de l'activité transport de voyageurs et de marchandises. Pour évaluer l'efficacité de revenu, les auteurs ont estimé une fonction distance orientée outputs dans laquelle le nombre de voyageurs-km et le nombre de tonnes-km ont été utilisés comme inputs de production tandis que le revenu de l'activité transport de voyageurs et le revenu de l'activité de marchandises ont été utilisés comme outputs.

Il est important de noter que pour chaque étape, les auteurs ont estimé l'indice de productivité de Malmquist afin d'identifier les principaux composants de la productivité totale. Les trois composants retenus sont la variation du progrès technique, la variation des économies d'échelle et la variation du niveau d'efficacité.

Afin d'illustrer cette méthodologie, les auteurs ont utilisé un panel de 14 compagnies ferroviaires chinoises observées entre 1999 et 2008 et les principaux résultats sont les suivants :

- Les compagnies ferroviaires sont majoritairement performantes à l'étape 1 puisque l'efficacité de production est nettement supérieure aux autres efficacités
- En moyenne, le progrès technique est considéré comme étant le principal facteur qui justifie l'existence des gains de productivité.

Kabasakal et al. (2013) utilisent également la technique de l'enveloppement des données pour estimer une fonction distance à rendement constant (plus connu sous le nom du modèle CCR) et une fonction distance à rendements variables (plus connu sous le nom de modèle BCC). Grâce à ces estimations, les auteurs ont pu évaluer la performance des compagnies ferroviaires à l'aide de deux indicateurs qui sont : l'efficacité technique et l'efficacité allocative. Dans cette démarche, les auteurs ont également utilisé la méthode de

l'enveloppement des données pour estimer l'indice de productivité de Malmquist et ses principaux déterminants qui sont, la variation du progrès technique, la variation de l'efficacité d'échelle et la variation du niveau d'efficacité technique.

Pour tester leur méthode, les auteurs ont utilisé un panel de 31 compagnies ferroviaires réparties dans le monde et observées entre 2000 et 2009. Cette étude montre que :

- L'estimation du modèle CCR permet de constater qu'en début de période, 17 compagnies sur les 37 sont techniquement efficaces. En fin de période, le nombre de compagnies efficaces est estimé à 18.
- Dans le même ordre d'idées, les résultats de l'estimation du modèle BCC permet de constater qu'en début de période, 20 compagnies sur les 34 sont techniquement efficaces. En fin de période ce nombre est passé à 24.
- Sur l'ensemble de la période, la croissance moyenne de productivité totale des facteurs est estimée à 0.3 %.

Les résultats de cette étude nous permettent de constater que l'évaluation des performances des chemins de fer peut être très sensible au modèle à estimer et aussi à la technique d'estimation.

Tableau 2-1 : **Quelques résultats empiriques obtenus grâce aux frontières non paramétriques**

Auteurs	Cantos, Pastor, and Serrano	Li and Hu (2011)	(Kabasakal et al. 2013)	Yu (2008),
Modèle	Frontière non paramètrique (DEA)	- Frontière non paramétrique - DEA - Efficacité productive	- Frontière non paramétrique - DEA , CCR BCC - Effficacité technique	- Frontière non paramètrique - Fonction distance - Efficacité de Production
Echantillon	Panel Européen: 1970-1995	Panel de 14 compagnies chinoises: 1999 - 2008	Panel : 31 compagnies dont: - 25 européennes - 6 nons européennes	Panel: 40 compagnies dont: - 29 européennes - 5 africaines - 6 asiatiques
Variables	VOKM TONKM LOCOMOTIVE PERSONNEL ENERGIE VOITURE WAGON VOIES	**INPUTS** PERSONNEL LONGUEUR DU RESEAU CAPITAL IMMOBILISE VOITURE WAGON **OUTPUTS** VOKM TONKM RECETTE VOYAGEURS	- **INPUTS** Coût de la main d'œuvre Coût de l'energie Coût des équipement coût du capital immobilisé - **OUTPUT** Coût total	**INPUTS** PERSONNEL LONGUEUR DES LIGNES VOITURE WAGON **OUTPUTS** VOKM TONKM
Résultats	Croissance de la productivité totale des facteurs + 30%	- Bon niveau d'efficacité productive - Le progrès technique est le principal composant des gains de productivité	- Le modèle CCR montre qu'endébut de période 17 compagnies étaient éfficaces contre 18 en fin de période -le Modèle BCC montre qu'en début de période 20 compagnies sont efficaces contre 24 en fin de période	Les compagnies de l'Europe de l'ouest sont les plus performantes

2.3.2. Quelques résultats empiriques obtenus à l'aide des méthodes paramétriques

Comme on l'a signalé plus haut, dans l'approche paramétrique, on suppose que la frontière est représentable par une fonction analytique dépendant d'un nombre fini de paramètres. Le problème consiste donc à spécifier cette fonction et à estimer les paramètres, soit par les méthodes statistiques soit par les méthodes issues de la programmation linéaire. Ainsi on distingue les frontières paramétriques déterministes et les frontières paramétriques stochastiques.

2.3.2.1. Les frontières déterministes

Parmi les auteurs ayant utilisé cette approche pour évaluer l'efficacité technique et la productivité des compagnies ferroviaires on peut citer : (Atkinson and Cornwell, 1998 ; Bitzan and Keeler, 2003 ; Caves et al., 1980 ; Filippini and Maggi, 1993 ; Loizides and Tsionas, 2002). Le résumé de ces études est présenté dans le tableau 2-2.

Afin d'évaluer les performances des compagnies ferroviaires, Caves et al. (1980), ont estimé une fonction de coût généralisé puisque celle-ci permet de tenir compte du fait que les compagnies ferroviaires sont des compagnies multi produits. Comme forme fonctionnelle, les auteurs ont utilisé une fonction translog puisqu'elle est flexible, facile à calculer et elle permet d'imposer les conditions d'homogénéité. Rappelons que cette méthode est fondée sur la mesure de l'élasticité des coûts par rapport aux différents produits.

Ces auteurs pensent que, pour une entreprise qui utilise un ou plusieurs inputs pour produire un output, la variation de la productivité totale des facteurs est déterminée par la vitesse avec laquelle la production pourrait croître dans le temps pour des inputs demeurants constants. Pour une entreprise qui utilise plusieurs inputs pour produire plusieurs outputs, la variation de la productivité totale des facteurs est donnée par la vitesse commune avec laquelle tous les outputs peuvent croître, les inputs demeurants constants.

La seconde définition parait plus adaptée pour évaluer la productivité des chemins de fer puisque la principale caractéristique des chemins de fer réside dans le fait qu'ils utilisent plusieurs inputs pour produire principalement deux outputs qui sont les mesures respectives de l'activité transport de voyageurs et de l'activité transport de marchandises.

Enfin cette méthodologie a été appliquée sur trois échantillons de compagnies ferroviaires américaines observées respectivement en 1955, 1963 et 1974. L'étude proposée

par ces auteurs montre qu'entre 1955 et 1974, les compagnies ont enregistré une croissance moyenne de 1.5 % de la productivité totale des facteurs.

Filippini and Maggi (1993) utilisent trois indicateurs de performance à savoir les économies de densité, les économies d'échelle et l'efficacité de coût pour évaluer la performance des chemins de fer. Pour ce faire, les auteurs ont estimé une fonction de coût dans laquelle la technologie est représentée par une fonction translog.

- L'économie de densité mesure l'accroissement des coûts induit par un accroissement du niveau de produit, les autres facteurs étant invariables. Elle est déterminée par l'inverse de la dérivée de la fonction de coût par rapport au produit (Caves et al., 1984).
- L'économie d'échelle mesure l'accroissement du coût total induit par un accroissement simultané du niveau d'output, de la taille du réseau et d'un indicateur de la structure du réseau, tous les autres facteurs étant supposés invariables. Pour Frisch (1964), une compagnie opère à un niveau d'échelle optimal si l'élasticité d'échelle est égale à 1. Si, pour une compagnie donnée, l'économie de densité est égale à l'unité alors celle-ci opère à une densité optimale.
- L'efficacité de coût est donnée par le rapport entre le coût réellement observé et le coût estimé par la fonction translog.

Pour illustrer cette méthodologie, l'article utilise un panel de 48 compagnies privées suisses observé entre 1985 et 1988. Cette étude montre que les compagnies privées suisses opèrent à faible économie d'échelle et de densité, puisque, la moyenne de l'économie d'échelle est supérieure à l'unité ainsi que la moyenne de l'économie de densité. Par contre d'un point de vue de l'efficacité économique, toutes les compagnies sont quasi identiques.

Pour estimer et décomposer la variation de la productivité totale des facteurs, l'article proposé par Atkinson and Cornwell (1998) estime une fonction coût multi-outputs. Pour chaque compagnie étudiée, les auteurs ont pris en compte la dimension temporelle et la dimension individuelle, ce qui leur a permis d'estimer une fonction de coût translog à effet fixe. L'avantage de ce modèle réside dans le fait qu'aucune hypothèse n'est faite d'une part sur la distribution des termes d'inefficacité et d'autre part sur l'absence de corrélation entre le terme d'erreur et les variables explicatives.

Dans cette démarche, les auteurs utilisent l'indice de productivité de Malmquist pour évaluer les principaux composants de la variation de la productivité totale à savoir : la variation du progrès technique et la variation du niveau d'efficacité économique.

Les auteurs ont appliqué cette méthodologie sur un panel de 12 compagnies ferroviaires américaines observées entre 1951 et 1975. Comme résultat, l'étude montre qu'entre 1951 et 1975, les compagnies ont enregistré une croissance moyenne de 0.3 % de la productivité totale des facteurs. Les résultats montrent également qu'en début de période, la variation de l'efficacité économique a un impact positif sur la variation de la productivité totale des facteurs. Mais en fin de période, cette variation devient négative, ce qui signifie qu'elle influe négativement sur la variation de la productivité totale des facteurs. En général les compagnies les plus performantes du point de vue de la productivité totale des facteurs sont celles qui ont un niveau élevé d'efficacité.

(Bitzan and Keeler, 2003) utilisent également une fonction de coût à technologie translog pour analyser la variation de la productivité totale des facteurs et la structure de production de l'activité transport de marchandise aux États Unis. Pour ce faire les auteurs ont utilisé un panel de 17 compagnies ferroviaires américaines observées entre 1983 et 1997. Trois résultats émergent de cette analyse.

- Au-delà des effets de l'innovation, la productivité totale des facteurs a augmenté à un rythme constant.
- La suppression du personnel d'accompagnement (à bord) entraîne une baisse de 5 %-8 % du coût.
- Le développement technologique connu depuis 1993 a entraîné une baisse significative des coûts de production

Pour évaluer la productivité totale des facteurs des compagnies ferroviaires, l'article proposé par Loizides and Tsionas (2002) utilise également une méthodologie qui est fondée sur l'estimation d'une fonction de coût. Contrairement aux précédents auteurs qui ont utilisé comme forme fonctionnelle la fonction translog, l'article de Loizides and Tsionas (2002) utilise plutôt une fonction du type Cobb-Douglas dans laquelle l'indice du progrès technique est introduit comme variable explicative.

Les modèles traditionnels de l'évaluation de la productivité totale de facteurs fondés sur l'estimation d'une fonction de coût supposent que les coefficients estimés sont constants. En pratique, cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée. Pour remédier à ce déficit, l'article de Loizides and Tsionas (2002) propose un modèle dans lequel les paramètres varient d'une compagnie à une autre. En économétrie, ce type de modèle porte le nom de « Modèle à coefficients variables ».

Tel que défini, ce modèle ne peut être estimé puisqu'en pratique, le progrès technique n'est pas observé. Pour remédier à ce manque, les auteurs ont remplacé la variable du progrès

technique par un ensemble de variables dichotomiques. Ainsi la nouvelle fonction à estimer est identique à celle proposée par Baltagi et al. (1995) ; Baltagi and Griffin (1988). Pour illustrer cette méthodologie, l'article utilise un panel de 10 compagnies ferroviaires européennes observées entre 1969 et 1992. Trois résultats émergent de cette analyse.

- Le progrès technique est une fonction décroissante du temps. En d'autres mots, le progrès technique diminue avec le temps.
- Les chemins de fer allemand et britannique sont les seuls où le progrès technique a un impact positif sur la productivité totale des facteurs
- Une augmentation des investissements en infrastructures ferroviaires ne doit s'effectuer que si elle répond à une augmentation significative du trafic.

2.3.2.2. Les frontières stochastiques

Contrairement aux modèles de frontières paramétriques déterministes, l'approche stochastique suppose que, pour une compagnie donnée, l'écart entre la frontière et la valeur réelle est imputable non seulement aux facteurs qui sont sous le contrôle du gestionnaire mais aussi à des chocs aléatoires ou exogènes. Parmi les auteurs ayant utilisé cette approche pour évaluer l'efficacité des compagnies ferroviaires on peut citer : Coelli and Perelman (1999, 2000) ; Lan and Lin (2006) ; Wetzel, (2008). (Voir tableau 2.3 pour le résumé de ces travaux)

Afin d'évaluer la performance des compagnies ferroviaires dans le monde, l'article proposé par Lan and Lin (2006) utilise la technique du maximum de vraisemblance pour estimer une frontière stochastique de production orientée input. Les auteurs ont retenu deux indicateurs de mesure de la performance à savoir l'efficacité technique et l'efficacité de consommation. L'efficacité technique mesure la capacité des chemins de fer à transformer les inputs de production en trains-km (voyageurs et fret) tandis que l'efficacité de consommation mesure l'aptitude des chemins de fer à transformer les trains-km voyageurs et fret en voyageurs-km et tonnes-km.

Pour ce faire les auteurs ont utilisé un panel de 39 compagnies, constitué de 14 compagnies de l'Europe de l'Ouest, 15 compagnies de l'Europe de l'Est et 10 compagnies non européennes. Cette étude montre que les compagnies les plus performantes sont celles de l'Europe de l'Ouest car elles ont un niveau d'efficacité (efficacité productive et efficacité de consommation) plus élevé que les autres compagnies de l'échantillon. Les compagnies non européennes sont les moins performantes.

Tableau 2-2 Quelques résultats empiriques obtenus grâce aux modèles de frontières déterministes

Auteurs	(Caves et al, 1980).	Filippini and Maggi (1993)	Loizides and Tsionas (2002)	Bitzan and Keeler (2003)	Atkinson and Cornwell (1998)
Modèle	Fonction de coût du type translog	- Fonction de coût du type translog	-Fonction de coût du type Cobb Douglas	- Fonction de coût - Technologie: Translog	- Fonction de coût du type translog - Modèle à effets fixes
Echantillon	Panel US: 1951-1974	Echantillon de 48 compagnies privées Suisses	Panel Européen:1969-1992	Panel US de 17 compagnies: 1983-1997	Panel US: 1951-1975
Variables	Personnel Matériel roulant Equipement Energie voies	- **INPUTS** Coût de la main d'œuvre Coût de l'energie Longueur du réseau coût du capital immobilisé **OUTPUT** Coût total	COUT TOTAL VOKM TONKM PERSONNEL ENERGIE LIGNES	**INPUTS** COÛT DE LA MO COÛT DU MATERIEL ROULANT COÛT DE L'ENERGIE COÛT DU CAPITAL COÛT DES EQUIPEMENTS **OUTPUTS** TRAINKMV	
Résultats	Croissance de la productivité totale des facteurs + 1.5%	- L'efficacité économique ne varie pas assez d'une compagnie à une autre - La plus part des compagnie a de faible économies d'echélle ainsi que de faible économie de densité	- Le Pogrès technique est une fonction décroissante du temps - Uniquement les compagnies ferroviaires allemande et britannique ont un impact positi du progrés technique sur la PTF - Il faut accroitre les investissement en infrastructure ferroviaire si et seulement cela permet de répondre à une augmentation significative de la demande	- Au delà des effets de l'innovation, la productivité total des facteurs a augmenté à un rythme constant. - La suppression des membres de l'équipage (personnel de bord) entraine une baisse de 5%-8% du coût. - Le développement technologique connu depuis 1993 a entrainé une baisse	Croissance de la productivité totale des facteurs + 0.3%

Coelli and Perelman (2000) remettent en cause les méthodes traditionnelles d'estimation de l'efficacité des chemins de fer fondées soit sur l'estimation d'une fonction de production ou sur l'estimation d'une fonction de coût généralisé. Les compagnies ferroviaires étant en général multi-produits, évaluer leur efficacité technique par l'estimation d'une fonction de production suppose que les productions soient agrégées en une seule variable qui peut être une combinaison linéaire des outputs. Cette approche suppose également que les prix des outputs soient observés et reflètent un comportement de maximisation des revenus. Toujours dans ce contexte, évaluer l'efficacité par l'estimation d'une fonction de coût généralisé suppose que les compagnies aient pour objectif de minimiser le coût de production. Si les hypothèses de maximisation des revenus et de minimisation des coûts sont classiques, pour le secteur du transport et en particulier celui du transport ferroviaire, ces hypothèses sont rarement vérifiées.

Pour remédier à ces limites, les auteurs préconisent des méthodologies fondées sur l'estimation des fonctions distance car elles sont plus adaptées aux compagnies multi-produits. Dans cette modélisation, le terme d'erreur peut être décomposé en deux éléments : le premier mesure le niveau d'efficacité tandis que le second représente l'ensemble des variables omises dans du modèle. Cette fonction distance peut être estimée à l'aide des techniques paramétriques ou des techniques non paramétriques.

La frontière de production peut être orientée input ou output. Du point de vue des inputs, l'estimation de la fonction distance permet de déterminer les proportions dans lesquelles la compagnie pourrait réduire ses inputs tout en conservant inchangé le niveau de ses outputs. Dans le même ordre d'idée, l'estimation de la fonction distance orientée output permet de déterminer les proportions dans lesquelles la compagnie pourrait accroître son output pour un niveau donné de ses inputs. Dans ce contexte, l'efficacité technique est donnée par l'inverse de la fonction distance.

Pour illustrer cette méthodologie, les auteurs ont utilisé un panel de 17 compagnies ferroviaires européennes observé entre 1971 et 1983. Dans une première partie, les auteurs ont estimé une fonction distance orientée input et une fonction distance orientée output. Comme techniques d'estimation les auteurs ont retenu la méthode des moindres carrés corrigés et celle du maximum de vraisemblance qui sont des techniques paramétriques. Dans une seconde partie, les auteurs ont estimé une fonction de production dans laquelle l'output total est déterminé par une combinaison linéaire de tous les outputs.

Tableau 2-3 : Quelques résultats empiriques obtenus grâce aux modèles de frontières stochastiques

Auteurs	Lan and Lin (2006)	Coelli and Perelman (1999),	Coelli and Perelman (2000)	(Wetzel 2008)
Modèle	- Frontière stochastique - Fonction distance orientée input	- Frontière paramétriques - Fonction de production multi outputs	- Frontière paramétrique - Moindes carrés corrigés - Maximum de vraisemblance	- Frontière de production paramétrique - Technologie: Translog
Echantillon	Panel: 39 compagnies dont: - 29 européennes - 10 non européennes	Panel Européen:1979-1983	Panel Européen de 17 compagnies : 1979-1983	Panel Européen de 32 compagnie ferrovières: 1990-2005
Variables	**INPUTS** PERSONNEL VOITURE WAGON **OUTPUTS** VOKM TONKM RECETTE VOYAGEURS RECETTE FRET	VOKM TONKM PERSONNEL ENERGIE LIGNES	**INPUTS** PERSONNEL LONGUEUR DES LIGNES ERNERGIE CONSOMMEE **OUTPUTS** VOKM TONKM	**INPUTS** PERSONNEL MATERIELS ROULANT DENSITE DU RESEAU **OUTPUTS** VOKM TONKM
Résultats	Les compagnies de l'Europe de l'ouest sont les plus performantes	-Les résultats de la fonction distance orientée input sont corelés avec ceux de la fonction distance orienté outputs -Les résultats obetnus à l'aie de la programmation linèaire sont identique à ceux des MCC -		- Une croissance de 10.8% de l'ET - Une croissance de 39% de la PTF - Une croissance de 29% du PT

Comme on l'a souligné plus haut, l'objectif de cette étude n'est pas une analyse du niveau d'efficacité des compagnies ferroviaires mais plutôt une remise en cause des méthodes traditionnelles d'estimation du niveau d'efficacité technique. Ainsi cette étude montre que le fait d'agréger les outputs en un seul vecteur introduit un biais dans la mesure du niveau d'efficacité technique

Coelli and Perelman (1999) se proposent de comparer les résultats obtenus grâce aux méthodes des frontières paramétriques et ceux obtenus grâce aux frontières non paramétriques. Pour ce faire, ils utilisent trois techniques, à savoir la programmation linéaire, les moindres carrés corrigés et la méthode de l'enveloppement des données pour estimer trois fonctions distance : une fonction distance multi-outputs à rendements constants, une fonction distance multi-outputs orientée input et une fonction distance multi-outputs orientée output. Les deux premières techniques d'estimation sont des méthodes paramétriques tandis que la troisième est une technique non paramétrique. Pour effectuer cette comparaison, les auteurs ont utilisé un panel de 17 compagnies ferroviaires européennes observées entre 1988 et 1993. Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

- Quelle que soit la méthode d'estimation retenue, les résultats de l'estimation de la fonction distance orientée inputs sont significativement corrélés avec ceux de l'estimation de la fonction distance orientée output.
- Quelle que soit la fonction distance retenue, les résultats obtenus grâce à la programmation linéaire sont identiques à ceux obtenus à l'aide des moindres carrés corrigés. Autrement dit, l'utilisation des techniques paramétriques aboutit à des résultats quasi identiques.
- Pour ces auteurs le meilleur ensemble des scores d'efficacité peut être défini par une combinaison des scores d'efficacité obtenus à l'aide des trois méthodes.
- De ces trois techniques d'estimation, les auteurs préconisent celle des moindres carrés corrigés car elle est facile à mettre en œuvre et son utilisation permet de réaliser les tests d'hypothèses.

Wetzel (2008) utilise également une méthodologie fondée sur l'estimation d'une fonction distance translog pour évaluer les performances des compagnies ferroviaires. Comme indicateur de mesure de la performance, l'auteur a retenu l'efficacité technique, la variation de la productivité totale et ses déterminants qui sont la variation technologique, la variation des économies d'échelle et la variation du niveau d'efficacité.

Pour illustrer cette méthodologie, l'auteur a utilisé un panel européen constitué de 32 compagnies ferroviaires observé entre 1990 et 2005. Cette étude montre que sur la période

considérée, les compagnies ont enregistré une croissance moyenne de 10.8 % de leur niveau d'efficacité et une croissance moyenne de 39 % de la productivité totale des facteurs. Les gains de productivité ainsi réalisés sont principalement dus à une croissance significative (+29 %) du progrès technique, une croissance moyenne (+ 6 %) du niveau d'efficacité et enfin une croissance modeste (+ 3%) des économies d'échelle. Autrement dit, le progrès technique peut être considéré comme étant le principal facteur explicatif des gains de productivité.

Conclusion du second chapitre

Ce chapitre avait pour objectif, d'une part de présenter les méthodes d'estimation des performances et d'autre part de proposer une revue de la littérature des performances des chemins de fer. Dans un premier temps, nous avons présenté les fondements théoriques de l'efficacité technique des entreprises et en particulier la théorie de l'inefficacité X de Leibenstein (1966). Selon les tenants de cette théorie, l'inefficacité productive d'une entreprise peut être expliquée principalement par l'effort qui est fonction du degré de motivation en vigueur dans l'entreprise. Dans un second temps, nous avons passé en revue les méthodes qui sont généralement utilisées pour estimer les performances des organisations, un accent particulier a été mis sur les modèles des frontières paramétriques. Néanmoins on constate qu'il existe deux familles de modèles qui permettent d'estimer les performances des organisations à savoir les méthodes paramétriques et les méthodes non paramétriques.

Les frontières paramétriques supposent que la technologie doit être représentée par une fonction. Les modèles de frontière peuvent également être subdivisés en deux sous-groupes à savoir les frontières déterministes et les frontières stochastiques. Les frontières déterministes supposent que la distance qui sépare une compagnie de la frontière d'efficacité s'explique uniquement par le niveau d'inefficacité. Par contre les frontières stochastiques supposent que cette distance s'explique d'une part par le niveau d'inefficacité et d'autre part par un terme d'erreur aléatoire qui représente l'ensemble des variables qui n'ont pas été prises en compte dans les modèles. Les frontières paramétriques sont principalement estimées par la technique des moindres carrés corrigés ou par la technique du maximum de vraisemblance.

Les frontières non paramétriques par contre ne supposent pas de forme fonctionnelle. Les techniques de programmation linéaire sont généralement employées pour estimer ces

frontières. On distingue les modèles à rendements d'échelle constants plus connus sous le nom de modèle CCR et les modèles à rendements d'échelle variables appelés modèles BCC.

La revue de la littérature montre qu'avec des méthodes diverses et variées, plusieurs auteurs ont essayé d'analyser et de comparer les performances productives des chemins de fer, aussi bien en Europe que dans le monde. Les indicateurs employés pour évaluer les performances des chemins de fer sont : l'efficacité de production, l'efficacité de consommation, l'efficacité technique, l'efficacité d'échelle, l'efficacité allocative et l'efficacité de coût, l'efficacité économique et la variation de la production totale des facteurs. L'analyse de cet indicateur présente un double avantage. Elle permet non seulement d'évaluer les performances des chemins de fer d'un point de vue de la réalisation des gains de productivité mais aussi d'identifier les principaux composants des gains de productivité qui en général sont : la croissance du progrès technique, les économies d'échelle et enfin la croissance du niveau d'efficacité technique.

Cette revue de la littérature montre également que deux approches sont généralement employées pour évaluer la performance productive des chemins de fer. La première est fondée sur l'hypothèse d'une maximisation du niveau de production, ce qui conduit à l'estimation d'une fonction de production néoclassique tandis que la seconde est fondée sur une hypothèse de minimisation des coûts, ce qui conduit à une estimation d'une fonction de coût. Chaque approche présente aussi bien des avantages que des inconvénients. Enfin on constate que les résultats d'une évaluation des performances des compagnies ferroviaires dépendent de plusieurs facteurs qui sont : le modèle à estimer, la méthode d'estimation et la qualité des données ou l'échantillon utilisé.

Chapitre 3 -
Mesure de l'efficacité de certains pays européens : une estimation paramétrique de la fonction distance

Introduction

Le transport ferroviaire joue un rôle important dans le développement économique d'un pays. En Europe, il est à la fois au cœur des politiques nationales et européennes. C'est ce qui justifie l'adoption depuis le début des années 1990 d'une série de réformes dont la finalité est de revitaliser le rail dont les parts de marché sont faibles alors qu'il est devenu un gros consommateur des budgets nationaux.

Depuis la directive européenne du 29 juillet 1991 (1991-440) relative au développement des chemins de fer communautaires, l'évaluation des performances des compagnies ferroviaires a retenu l'attention des chercheurs et des professionnels. Pour Marchand et al (1984) le concept de performance, pour une entreprise publique comme pour une compagnie des chemins de fer, se définit par la capacité à se rapprocher des objectifs qui lui sont assignés par l'autorité de tutelle, le plus souvent par l'État. La performance vise l'efficacité économique *stricto sensu* mais ils sont aussi macroéconomiques, financiers et redistributifs (Gathon and Perelman, 1989). Le problème est donc de combiner ces objectifs multiples qui ne sont que rarement compatibles (Rees, 1976). La question est donc la suivante : dans un environnement aussi complexe que celui du rail, comment évaluer la performance des compagnies ferroviaires ?

Avec diverses méthodes, plusieurs auteurs ont essayé de répondre à cette question. D'un point de vue méthodologique, les études qui ont essayé d'évaluer et de comparer les performances des compagnies ferroviaires peuvent être classées en trois catégories.

- La première catégorie regroupe tous les auteurs dont la démarche repose sur le calcul des indicateurs partiels de productivité. Parmi ces auteurs on peut citer : C. Nash et J. Preston (1994) et plus tôt (Nash, 1981). Afin de mesurer les performances de la British Railways, Nash and Preston (1994) ont utilisé une série d'indicateurs de mesures partielles de la productivité pour comparer les

performances de cette compagnie avec celles des compagnies ferroviaires de l'Europe de l'Ouest. Les indicateurs utilisés à cet effet permettaient d'évaluer les performances sur le plan de l'exploitation, commercial et financier. Cette étude est basée sur un panel de quatorze compagnies ferroviaires des pays de l'Europe de l'Ouest observées entre 1971 et 1991. Les auteurs ont montré que durant cet intervalle de temps, la productivité de la main-d'œuvre de la British Railways s'est améliorée et était *in fine* supérieure à celle des autres compagnies de l'échantillon. L'analyse des indicateurs de performance financière montre qu'elle avait un taux de couverture des charges d'exploitation plus élevé que la moyenne de l'échantillon. Enfin l'analyse de la performance commerciale montrait une perte rapide de parts de marché comparée aux autres compagnies de l'échantillon.

- La deuxième approche de l'analyse comparative des performances est fondée sur l'estimation d'une frontière, paramétrique ou non. Les indicateurs généralement évalués sont : l'efficacité productive, l'efficacité technique, l'efficacité commerciale et enfin les gains de productivité. Cette seconde approche à fait l'objet d'une série de travaux menés par Caves et al. (1981) et Caves and Christensen (1980). Parmi les auteurs ayant utilisé cette approche pour évaluer les performances des compagnies ferroviaires, on peut citer les travaux de Cantos et al. (1999) ; Cantos and Maudos (2001) ; Cantos Sanchez and Maudos Villarroya (2000) ; Caves et al. (1981) ; Cowie and Riddington (1996) ; Oum et al. (1999) ; Oum and Yu (1994) ; Pedro et al. (2012) ; Perelman (1986). Ces études reposent pour l'essentiel sur l'estimation paramétrique ou non paramétrique d'une frontière de production ou d'une frontière de coût. Dans cette approche, le niveau de performance est déterminé par l'inverse de la distance par rapport à la frontière. Ainsi les compagnies les plus performantes sont celles qui sont plus proches de la frontière.
- Une troisième méthodologie, dite des comptes de surplus, visant à mesurer les déplacements des frontières de prix et la répartition du surplus de productivité globale, a également été déployée en particulier en France mais pas uniquement : Desmaris (2010), Harmey and Hemat (1985), Louis-André (1971) et parfois pour l'étude d' entreprises ferroviaires européennes, Gathon and Perelman (1989).

Cette revue de la littérature, non exhaustive, atteste qu'avec des techniques différentes, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'analyse comparative des performances des chemins de fer.

Ce chapitre à un double objectif, proposer une analyse comparative des performances et révéler les trajectoires des performances des chemins de fer entre 1997 et 2011. Pour ce faire, nous utilisons la technique du maximum de vraisemblance pour estimer respectivement une frontière stochastique d'efficacité productive, une frontière stochastique d'efficacité commerciale et une frontière stochastique d'efficacité technique. Les indicateurs de performance ainsi retenus sont l'efficacité productive, l'efficacité commerciale et l'efficacité technique. Comme quatrième indicateur de mesure de la performance, nous avons aussi calculé la variation de la productivité totale des facteurs et identifié ses principaux déterminants.

Ce chapitre sera structuré comme suit : dans une première section, nous allons présenter le schéma d'analyse des performances des chemins de fer. Cette section va donc répondre à la question de savoir comment évaluer leurs performances. La seconde section quant à elle sera consacrée à la méthodologie et à l'analyse descriptive des données. Enfin dans une troisième section, nous présenterons nos résultats.

3.1 Schéma d'analyse des performances des chemins de fer

Comme tout mode de déplacement, le transport ferroviaire, activité de service, est caractérisé par le fait que la production non consommée est considérée comme perdue. Autrement dit, en transport en général et en transport ferroviaire en particulier, la production est un bien non stockable puisqu'il existe une différence entre le nombre de voyageurs-km et le nombre de places-km offertes (Yu and Lin, 2008). Ainsi toute étude dont l'objectif est d'évaluer les performances des chemins de fer devrait tenir compte de cette particularité. Pour pallier cette difficulté, Fielding et al. (1985) proposent dans une analyse portant sur l'évaluation des performances des bus, trois indicateurs de performance à savoir : l'efficacité en termes de coût, l'efficacité de service et l'efficience de coûts. Pour ces auteurs, l'efficacité des coûts est donnée par le ratio des inputs et du niveau de production. L'efficacité de service est déterminée par le ratio entre la quantité produite et la quantité consommée, et enfin

l'efficience de coût est donnée par le ratio entre le niveau des inputs et la quantité consommée.

Dans l'industrie ferroviaire, la production se fait généralement en deux étapes. Dans une première étape, les inputs de production sont transformés en outputs intermédiaires. Plus spécifiquement, dans cette première étape, les inputs de production (le personnel, la longueur des voies, les locomotives, le nombre de wagons et le nombre de voitures) sont utilisés pour produire le nombre de trains-km de marchandises d'une part et de voyageurs d'autre part. Ces deux indicateurs représentent le niveau d'offre disponible. Dans une seconde étape, l'offre disponible en trains-km est transformée en voyageurs-km et en tonnes-km.

Pour évaluer les performances des chemins de fer, il est donc important de mesurer pour chaque étape, un indicateur d'efficacité, c'est ce que proposent Fielding et al. (1985). C'est cette logique qui nous amène à distinguer quatre indicateurs d'efficacité (trois spécifiques et un global) pour évaluer la performance des chemins de fer (voir figure 3-1).

- Le premier indicateur est appelé ***efficacité productive***, il mesure la capacité de la compagnie de chemin de fer à réduire ses inputs tout en gardant inchangé le niveau de production. Cet indicateur rend compte de l'aptitude à réduire les coûts à travers une réduction des inputs de production.
- Le deuxième indicateur est appelé ***efficacité commerciale***. Il mesure la capacité de la compagnie à attirer le maximum d'usagers étant donné le niveau de production. Il exprime donc la relation qui existe entre quantité produite et quantité consommée.
- Le troisième indicateur est appelé ***efficacité technique***. Il mesure la capacité à attirer un maximum d'usagers à partir d'un faible niveau d'inputs. Cet indicateur met donc en relation les inputs de production et les quantités consommées.
- Enfin le quatrième indicateur est appelé ***gains de productivité***, puisqu'il mesure la variation de la productivité globale des facteurs, c'est-à-dire la part de la croissance qui n'est pas expliquée par l'augmentation du volume du capital et du volume du travail.

Les déterminants des gains de productivité sont au nombre de trois :

- la part de la variation du progrès technique, qui mesure la contribution de l'innovation à la réalisation des gains de productivité ;
- la variation des économies d'échelle, qui mesure l'impact de la taille des opérations

- et enfin la variation du niveau d'efficacité (productive ou technique).

3.2 Méthodologie.

La méthode des frontières stochastiques est celle que nous avons retenue pour évaluer les performances productives des compagnies ferroviaires européennes. Cette méthode étant présentée au chapitre précédent, cette section sera consacrée à une analyse descriptive de notre échantillon et des variables qui ont été utilisées pour notre application ainsi qu'à un bref rappel des fonctions à estimer.

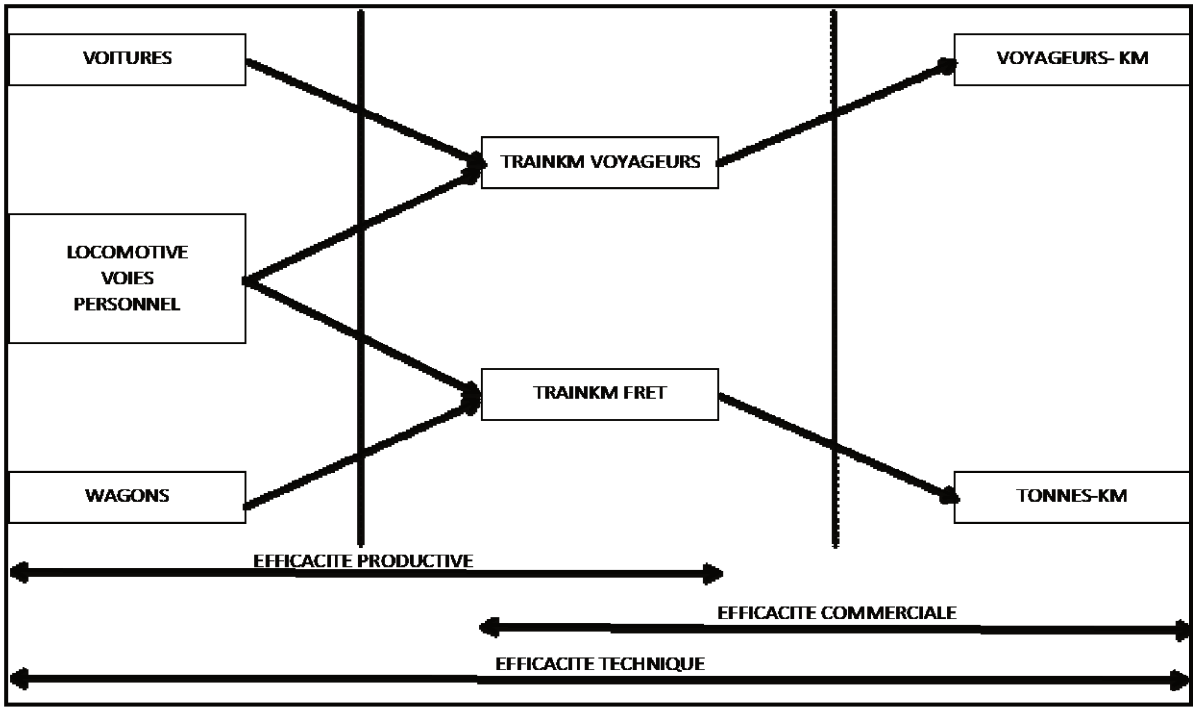


Figure 3-1 : **Schéma d'analyse des performances des compagnies ferroviaires**
Source : auteur

3.2.1 Description de l'échantillon

Pour cette analyse, nous avons à notre disposition un panel de 17 pays européens observés entre 1997 et 2011. Cet échantillon a été établi sur la base de deux critères, la disponibilité et la significativité des données pour chaque pays. Pour faciliter la présentation des résultats, nous avons subdivisé cet échantillon en quatre sous-échantillons :

- Europe septentrionale : Danemark, Finlande et Suède.
- Europe orientale : Bulgarie, Hongrie, Pologne, République tchèque, Slovaquie et Roumanie

- Europe méridionale : Espagne, Italie, Portugal et Slovénie
- Europe occidentale : Autriche, Allemagne Belgique et France.

Tous ces pays sont membres de l'Union Européenne et sont par conséquent soumis aux directives européennes en matière de libéralisation des activités ferroviaires. Comme on le verra avec l'analyse descriptive, ces 17 pays constituent un échantillon hétérogène d'un point de vue des pratiques mais aussi d'un point de vue du degré de libéralisation.

La période 1990 – 2011 est importante pour l'histoire du transport ferroviaire européen puisque la politique européenne des transports est lancée en 1991 avec la publication de la directive 91-440 relative au développement communautaire des chemins de fer. L'objectif de la Commission dans le domaine ferroviaire est de parvenir à la création d'un espace ferroviaire européen unique. Plusieurs autres directives, regroupées en « paquets ferroviaires » ont également été adoptées entre 1990 et 2011. Il s'agit spécifiquement du premier paquet ferroviaire (2001) qui avait pour objectif l'ouverture à la concurrence du réseau transeuropéen de fret, du deuxième paquet ferroviaire (2004) qui prévoit l'ouverture à la concurrence du fret international et le troisième paquet ferroviaire (2007) dont l'objectif est l'ouverture à la concurrence du transport international de voyageurs.

3.2.2 Description des données et définition des variables

Les études appliquées en économie des transports et particulièrement en économie du transport ferroviaire sont confrontées à plusieurs difficultés parmi lesquelles celle de la multitude des sources de données qui sont pour certaines officielles et pour d'autres non officielles. A cette difficulté s'ajoute celle de la fiabilité des données. En effet, pour un même pays, les données varient d'une source à une autre.

Pour remédier à cette difficulté, les données utilisées dans ce travail proviennent essentiellement des bases EUROSTAT. Elles ont été complétées par les rapports annuels des différentes compagnies ainsi que les rapports annuels publiés par l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer). Ces données sont relatives aux facteurs de production et aux indicateurs de production de l'activité transport ferroviaire. Pour cette analyse nous avons retenu 9 variables soit 5 inputs et 4 outputs.

Pour les inputs :

- Le nombre de wagons, le nombre de voitures et le nombre de locomotives, composant le parc du matériel roulant pour chaque pays. Notons que le matériel

roulant constitue un actif coûteux pour les chemins de fer dont l'utilisation intensive est nécessaire pour accroître les performances des compagnies.

- La longueur des voies.
- La main d'œuvre via l'effectif global des employés des chemins de fer.

Les quatre premières peuvent être considérées comme le capital fixe tandis que la cinquième représente le capital variable. On est donc en présence d'une fonction de production néo-classique puisque la production dépend essentiellement des facteurs capital et travail.

Pour les outputs, 4 indicateurs de mesure du niveau de production ont été retenus :

- Le nombre de trains-kilomètres de voyageurs et de fret qui représentent le niveau de l'offre disponible. Par construction, la variable train-km (voyageurs ou fret) est égale au nombre de trains multiplié par la distance totale parcourue
- Les deux autres indicateurs retenus sont le nombre de voyageurs-km et le nombre de tonnes-km. Ces indicateurs sont importants car ils déterminent le niveau de la demande ou les quantités réellement consommées. Par construction, la variable tonnes-km (respectivement voyageurs-km) est donnée par le produit entre le nombre de tonnes (respectivement voyageurs) transportées multiplié par la distance parcourue.

Les statistiques descriptives des variables utilisées pour analyser les performances des compagnies ferroviaires européennes, sont présentées dans le tableau 3-1. Dans ce tableau figure pour chaque pays et sa région, la moyenne annuelle des variables. D'un point de vue de l'infrastructure, il apparaît que la longueur moyenne de voies exploitées est de 32 931 kilomètres pour les pays de l'Europe de l'Ouest contre 16 533 kilomètres pour les pays de l'Europe de l'Est, 11 861 pour les pays de l'Europe du Sud et enfin 8 858 kilomètres pour les pays de l'Europe du Nord. Avec une moyenne de 68 296 km de voies ferrées, l'Allemagne se présente comme le pays le plus doté en matière d'infrastructures ferroviaires. Elle est suivie par la France qui a une moyenne de 49 936 km de voies ferrées, la Pologne (40 350 km), l'Italie (22 925) et la Roumanie (21 408 km).

L'analyse du matériel roulant de l'activité transport de marchandises montre que le nombre moyen de wagons est estimé à 49 003 pour les pays de l'Europe de l'Est, 9 974 pour les pays de l'Europe du Nord, 59 262 pour les pays de l'Europe de l'Ouest et enfin 20 699 pour les pays de l'Europe du Sud. A l'échelle nationale, l'Allemagne se distingue encore puisqu'elle a une moyenne de 119 504 wagons, elle est suivie par la Pologne (103

776 wagons), la France (80 658 wagons), la Roumanie et l'Italie respectivement 79 677 et 52 562 wagons. Au bas du classement on retrouve la Slovénie, le Portugal et le Danemark avec respectivement 5 180, 3 749 et 1236 wagons.

Pour l'activité transport de voyageurs, la région de l'Ouest se distingue puisqu'elle a une moyenne de 10 553 voitures, elle est suivie par la région de l'Est (4 149 voitures), la région du Sud (4 045) et enfin le Nord avec une moyenne de 1 503 voitures. A l'échelle nationale, le parc du matériel roulant allemand compte en moyenne 19 631 voitures contre 16 049 pour le parc français, 10 607 voitures pour le Parc italien et enfin 8 924 voitures pour le parc polonais.

Le nombre moyen de locomotive est estimé à 5 270 pour les pays de l'Europe de l'Ouest, 2 310 pour les pays de l'Europe de l'Est, 1 692 pour les pays de l'Europe du Sud et enfin 578 pour les pays de l'Europe du Nord. A l'échelle individuelle, l'Allemagne, la France et la Pologne se distinguent encore avec respectivement 11 549, 6 651 et 4 779 locomotives. L'Italie arrive en quatrième position avec une moyenne de 4 392. Les pays les plus faiblement équipés sont la Suède (633), le Portugal (416) le Danemark (411) et la Slovénie (272).

L'analyse de la main d'œuvre montre que l'effectif moyen du personnel est estimé à 119 423 pour les pays de l'Europe de l'Ouest, 69 419 pour les pays de l'Europe de l'Est, 35 385 pour les pays de l'Europe du Sud et enfin 12 700 pour les pays de l'Europe du Nord. On compte en moyenne 237 247 employés en Allemagne contre 166 800 en France, 144 054 en Pologne, 95 710 en Italie et 78 070 en Roumanie. Au Danemark, au Portugal et en Slovénie le personnel moyen est estimé respectivement à 10 895, 9 794 et 8 402.

L'analyse de ces variables montre que la taille du parc du matériel roulant varie d'une région à une autre et d'un pays à un autre, le même constat est fait pour l'infrastructure ainsi que pour le personnel. Les données montrent que l'Allemagne, la France la Pologne et l'Italie sont les pays dominants d'un point de vue de la taille du parc du matériel roulant, de l'infrastructure mais aussi d'un point de vue de la main d'œuvre. On peut ainsi dire qu'ils ont un capital fixe et un capital variable très élevés comparé au reste de l'échantillon.

D'un point de vue du niveau de production, les données montrent que l'offre disponible est estimée à 207 millions de trains-km de marchandises et 797 millions de trains-km voyageurs pour l'Allemagne. La deuxième place revient à la France avec une

offre moyenne estimée à 116 millions de trains-km de marchandises et 387 millions de trains-km de voyageurs. La troisième place est partagée entre la Pologne et l'Italie. L'offre disponible est estimée à 83 millions de trains-km de voyageurs et 152 millions de trains-km de marchandises pour la Pologne, tandis que l'Italie propose en moyenne 55 millions de trains-km de marchandise et 261 millions de trains-km de voyageurs. Exprimé en trains-km (voyageurs + fret), les pays dont l'offre est faible sont, la Slovénie, la Bulgarie, le Portugal et le Danemark avec respectivement 19, 36, 38 et 65 millions de trains-km.

Du point de vue de la demande, entre 1997 et 2011, l'Allemagne a commercialisé en moyenne 93 milliards de tonnes-km contre 76 milliards de voyageurs-km, elle peut donc être considérée comme le leader de l'échantillon. Pour l'activité transport de voyageurs, la deuxième place est occupée par la France (76 milliards de voyageurs-km) tandis que l'Italie occupe la troisième place avec une moyenne de 48 milliards de voyageurs-km. Avec 21 milliards de voyageurs km, l'Espagne occupe la quatrième place devant la Pologne avec une moyenne 20 milliards de voyageurs-km. Pour l'activité transport de marchandises, le classement est le suivant : Pologne (53 milliards de tonnes-km), France (45 milliards), Italie (22 milliards) et Suède (21 milliards).

Cette analyse descriptive nous permet de constater que les pays qui constituent notre échantillon sont très hétérogènes du fait de leur taille très variable. En outre, des pays tels que la France, l'Italie et l'Espagne sont spécialisés dans l'activité transport de voyageurs tandis que les pays tels que la Pologne et la Suède sont spécialisés dans l'activité transport de marchandises. Mais au-delà des différences, quelles sont leurs performances comparées ?

.

Tableau 3-1 : Statistiques descriptives des variables sur la période 1997-2011

REGIONS	PAYS	INPUTS					OUTPUTS			
		LOCOMOTIVE	PERSONNEL	VOIES	VOITURES	WAGONS	TRAINKM-FRET*	TRAINKM-VOYAGEURS*	TONKM**	VOKM**
OUEST	Autriche	1499,60	34094,33	7280,27	3167,67	19902,07	48444,87	95182,07	18090,87	9398,35
	Allemagne	11549,27	237246,80	68295,61	19631,33	119504,10	207190,90	796706,70	92971,47	76915,53
	Belgique	1381,53	39552,93	6210,07	3365,07	16984,13	15239,87	77829,53	7721,53	8863,13
	France	6651,20	166799,80	49936,34	16048,73	80658,20	115564,60	387331,50	45291,30	75876,57
	MOYENNE	**5270,40**	**119423,47**	**32930,57**	**10553,20**	**59262,13**	**96610,06**	**339262,45**	**41018,79**	**42763,40**
EST	Bulgarie	686,87	34193,20	6238,33	1485,73	16960,80	11482,15	25247,29	4953,33	2953,73
	Hongrie	1355,07	48787,20	11373,93	3101,13	18258,60	17033,27	78032,89	8682,60	9191,41
	République tchèque	2996,93	71635,27	16176,00	5047,40	50937,40	36686,33	110559,60	16057,00	6868,81
	Pologne	4779,13	144054,30	40352,27	8923,67	103775,70	83642,53	152499,10	52501,67	19942,31
	Slovaquie	1283,13	39771,60	3649,20	1561,13	24405,40	17491,40	33550,93	9850,93	2527,73
	Roumanie	2757,33	78070,20	21408,53	4775,33	79677,13	29309,32	70405,27	15716,60	9126,23
	MOYENNE	**2309,74**	**69418,63**	**16533,04**	**4149,07**	**49002,51**	**32607,50**	**78382,51**	**17960,36**	**8435,04**
NORD	Danemark	411,20	10895,40	3219,67	1508,07	1236,27	4701,73	60859,80	1999,20	5919,33
	Finlande	688,73	11100,20	8752,53	1049,53	11686,93	16944,47	31331,87	9951,20	3559,20
	Suède	633,20	16105,67	14590,20	1952,20	16997,47	40927,93	85357,87	20866,27	9126,80
	MOYENNE	**577,71**	**12700,42**	**8854,13**	**1503,27**	**1503,27**	**20858,04**	**59183,18**	**10938,89**	**6201,78**
SUD	Italie	4391,67	95710,40	22925,13	10606,87	52562,47	55446,07	261905,60	21791,20	48367,00
	Portugal	416,33	9793,60	3176,38	1142,73	3749,20	7193,73	31016,92	2275,93	4078,93
	Slovénie	272,00	8401,53	2187,12	415,73	5180,20	7659,53	11472,13	3150,27	749,27
	Espagne	1686,47	27632,67	19153,93	4017,53	21304,80	34614,47	139661,50	11109,00	21091,78
	MOYENNE	**1691,62**	**35384,55**	**11860,64**	**4045,72**	**20699,17**	**26228,45**	**111014,04**	**9581,60**	**18571,74**

* En milliers **En millions

Sources : Calculs de l'auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

3.2.3 Présentation des modèles empiriques

Pour évaluer l'efficacité des compagnies ferroviaires européennes, nous avons utilisé une méthodologie fondée sur l'estimation d'une frontière paramétrique. En d'autres termes, pour évaluer l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, et l'efficacité technique des compagnies ferroviaires européennes, nous avons estimé la fonction distance proposée par Shephard (1970, 1954). Cette fonction peut s'écrire comme suit :

Équation 3-1 : Fonction distance

$$1 = D_i\left(y_{it}, x_{it}, T, \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda\right)(\xi_{it}) \quad \text{avec i=1, 2....., N} \quad \text{t=1, 2...., T}$$

Dans l'équation 3-1, $D_i(y_{it}, x_{it}\ T,)$ représente la fonction distance, *y* le vecteur des outputs, *x* le vecteur des inputs, T le temps, $\alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta\ et\ \lambda$, les paramètres à estimer et enfin ξ_{it}, le terme d'erreur que nous présenterons plus-tard. Pour obtenir l'expression d'une frontière, la distance D_i doit être égale à l'unité, ce qui justifie l'écriture de l'équation 3-1. Il est important de rappeler que la fonction distance peut être estimée suivant deux approches, une approche par les inputs ou une approche par les outputs, ce choix sera effectué en fonction de l'efficacité à estimer.

Pour estimer l'équation 3-1, la forme fonctionnelle de la fonction distance doit satisfaire certaines conditions. Elle doit être flexible, facile à calculer et permettre d'imposer les conditions d'homogénéité. L'unique fonction qui vérifie ces trois conditions est la fonction Translog proposée par Christensen et al. (1971), c'est la raison pour laquelle nous l'avons choisie.

Comme nous avons distingué trois mesures de l'efficacité à savoir, l'efficacité de production, l'efficacité commerciale et l'efficacité technique, cela nous conduit à estimer trois frontières différentes. La présentation du modèle à estimer se fera selon la nature de l'efficacité à mesurer.

3.2.3.1 La frontière d'efficacité productive.

Pour mesurer l'efficacité productive des compagnies ferroviaires, nous avons choisi d'estimer une fonction distance orientée inputs puisque celle-ci permet de déterminer les proportions dans lesquelles la compagnie peut réduire ses inputs en gardant inchangé le niveau de ses outputs. Selon Coelli and Perelman (2000), dans l'industrie ferroviaire comme

dans toute autre industrie régulée, les entreprises ne peuvent pas contrôler la demande. Par contre elles peuvent contrôler les facteurs de production. C'est l'une des raisons pour lesquelles ces auteurs préconisent d'utiliser une approche par les inputs pour évaluer l'efficacité productive des compagnies ferroviaires. Enfin comme le montre Crozet (2013), la production des compagnies ferroviaires, évaluée en trains-km est globalement stable, ce constat permet également de justifier le choix d'une approche par les inputs.

Suivant les recommandations faites par Lovell et al. (1994), nous avons divisé tous les inputs de l'équation 3-1 par un input, ce qui nous a permis d'avoir la relation suivante :

Équation 3-2 : Fonction distance orientée inputs

$$\frac{1}{x_{nit}} = D_i\left(y_{it}, x_{it}/x_{nit}, T, \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda\right)(\xi_{it})$$

En appliquant le logarithme népérien à l'équation 3-2, on obtient la relation suivante :

Équation 3-3 : Fonction distance orientée input linéarisée

$$-\ln(x_{nit}) = TL(y_{it}, x_{it}/x_{nit}, T;\ \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda) - \ln(D_i)$$

Dans l'équation 3-3, le terme ln (D_i) n'est pas observé, il peut donc être interprété comme un terme d'erreur. Si l'on suppose que le terme $-\ln(D_i) = v_{it} - u_{it}$ avec v_{it} le terme d'erreur classique et u_{it} le terme d'inefficacité technique, alors l'équation 3-3 peut s'écrire comme suit :

Équation 3-4 : Fonction distance orientée input linéarisée

$$-\ln(x_{nit}) = TL(y_{it}, x_{it}/x_{nit}, T;\ \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda) + v_{it} - u_{it}$$

Puisque nous avons choisi comme forme fonctionnelle la fonction Translog alors l'équation 3-4 prend la forme suivante :

Équation 3-5 : Frontière de production à technologie Translog et orientée inputs

$$-\ln x_{nit} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{4}\alpha_{it}\ln x_i^* + \sum_{j=1}^{2}\beta_j \ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\gamma_j \ln y_{jt}\ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{i=1}^{4}\lambda_{ij}\ln x^*_{it}\ln x^*_{it}$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2}\delta_{ij}\ln x_{it}\ln y_{jt} + \varphi_1 t + \varphi_{11}t^2 + \sum_{i=1}^{4}\mu_i t\ln x_{it}^* + \sum_{j=1}^{2}\eta_j t\ln y_{jt} + v_{it} - u_{it}$$

Les paramètres de cette frontière sont les suivants :

- Les variables x_{it} représentent les inputs de la compagnie i observés à la période t. Il s'agit principalement des effectifs de main d'œuvre (x_{nt}), du nombre de

locomotives (x_1), du nombre de wagons (x_2), du nombre de voitures (x_3) et de la longueur des voies (x_4). Comme l'exige la méthodologie des frontières, nous avons choisi de normaliser les inputs par la main d'œuvre (x_{nt}).

- les variables x_i marquées d'un astérisque sont données par la relation suivante : $x_{it}^{*} = x_{it}/x_{nit}$.
- Les variables $y_{it,}$ représentent les outputs de la compagnie observés à la période t. Pour cette frontière nous avons choisi comme outputs : le nombre de trains-km de voyageurs (y_1) et le nombre de trains-km de marchandises (y_2).
- u_{it} et v_{it} représentent respectivement le terme d'inefficacité productive et le terme d'erreur. Par construction, le terme d'erreur représente (v_{it}) l'ensemble des variables non prises en compte dans le modèle. Tout comme Ritter and Simar, (1997), pour estimer cette frontière, nous avons supposé que le terme d'inefficacité (u_{it}) suit une loi normale positive de moyenne nulle et de variance constante tandis que le terme d'erreur (v_{it}) suit une loi normale de moyenne nulle et de variance constante. Nous pouvons donc écrire : $u_i \sim |N\ (0;\ \sigma_u)|\ et\ v_i \sim N\ (0;\ \sigma_v)$.
- $\alpha,\ \beta, \gamma,\ \lambda,\ \delta,\ \varphi,\ \mu\ et\ \eta$, les paramètres à estimer
- Nous avons estimé l'équation 3-5 par la technique du maximum de vraisemblance proposée par Aigner et al. (1977).

Pour calculer l'efficacité productive (PE), nous avons utilisé la forme suivante :

$$PE = E\left\{\exp(-u_{it})/(v_{it} - u_{it})\right\}$$

Les paramètres estimés de la frontière nous ont permis de calculer la productivité totale des facteurs ainsi que ses principaux composants. Ces indicateurs ont été calculés à partir des formules suivantes :

- La variation du progrès technique (TC) est donnée par la moyenne arithmétique entre deux instants, t et t+1 de la dérivée de la fonction distance par rapport au temps. La formule mathématique est la suivante :

Formule 3-1 : Variation du progrès technique

$$TC = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial \ln D_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln D_{it+1}}{\partial t}\right]$$

et

$$\frac{\partial \ln D_t}{\partial t} = \varphi_1 + 2\varphi_{11} t + \sum_{i=1}^{5} \mu_i \ln x_{it}^{*} + \sum_{j=1}^{2} \eta_j \ln y_{jt}$$

- La variation du niveau d'efficacité productive (PEC) qui est donnée par la relation :

Formule 3-2: Variation de l'efficacité productive

$$PEC = \ln\left(\frac{PE_{t+1}}{PE_t}\right)$$

C'est donc le logarithme du rapport aux instants t et t+1 du niveau d'efficacité technique.

- La variation du niveau d'efficacité d'échelle (SEC) qui est donnée par la relation suivante :

Formule 3-3: Variation de l'efficacité d'échelle

$$SEC = \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{2}\left[\left(SF_{it}\varepsilon_{mit} + SF_{it}\varepsilon_{mit+1}\right)\left(\ln y_{it+1} - \ln y_{it}\right)\right]$$

Avec:

$$\varepsilon_{mit} = \frac{\partial \ln D}{\partial y_{mit+1}} = \beta_m + \sum_{j=1}^{2}\gamma_j \ln y_{jt} + \sum_{i=1}^{5}\delta_i \ln y_{jt} + t\eta_m$$

ε_{mit}, est l'élasticité de production et SF est un facteur d'échelle qui est calculé de la façon suivante:

$$SF = \frac{\varepsilon_{it}+1}{\varepsilon_{it}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_{it} = \sum_{m=1}^{2}\varepsilon_{mit}$$

La variation de la productivité totale des facteurs est donc donnée par la relation suivante :

Formule 3-4 Variation de la productivité totale des facteurs

$$\ln\frac{TFP_{t+1}}{TFP_t} = \ln\frac{PE_{t+1}}{PE_t} + \frac{1}{2}\left[\frac{\partial \ln D_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln D_{it+1}}{\partial t}\right] + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{2}\left[\left(SF_{it}\varepsilon_{mit} + SF_{it}\varepsilon_{mit+1}\right)\left(\ln y_{it+1} - \ln y_{it}\right)\right]$$

Avec i =1,2……N et t=1,2,…….T

3.2.3.2 La frontière d'efficacité commerciale.

Pour évaluer l'efficacité commerciale, nous avons estimé une fonction distance orientée outputs. Nous avons choisi cette orientation pour deux raisons :

- Premièrement elle met en relation les outputs intermédiaires (le nombre de trains, voyageurs et fret) et les outputs finaux qui sont le nombre de voyageurs-km et de tonnes-km.
- Comme on l'a vu dans l'analyse de l'efficacité productive, le nombre de trains-km étant relativement constant, il apparaît donc important de se poser la question de savoir comment accroitre le nombre de voyageurs-km et de tonnes-km pour un niveau donné de trains-km.

Comme pour la frontière d'efficacité productive, nous avons choisi de représenter la technologie par une fonction Translog, ce qui nous donne le modèle suivant :

Équation 3-6 : **Frontière de consommation à technologie Translog et orientée output**

$$-\ln x_1 = \alpha_0 + \alpha_1 \ln x^*_2 + \frac{1}{2}\alpha_2 \ln x^{*2}_2 + \sum_{j=1}^{2}\beta_j \ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\gamma_j \ln y_{jt} \ln y_{jt} + \sum_{j=1}^{2}\delta_j \ln x_2 \ln y_{jt} + \varphi_1 t + \varphi_{11} t^2 + \mu_1 t \ln x^*_1 + \sum_{j=1}^{2}\eta_j t \ln y_{jt} + v_{it} - u_{it}$$

Les étapes de la construction de cette fonction sont identiques à celle de l'équation 3-5.

Les paramètres de cette fonction sont les suivants :

- x_1 et x_2 représentent respectivement le nombre de trains-km de voyageurs et de marchandises.
- y_1 et y_2 représentent respectivement le nombre de tonnes-km et de voyageurs-km.
- $\alpha,\ \beta, \gamma,\ \lambda,\ \delta,\ \varphi,\ \mu\ et\ \eta$, sont les paramètres à estimer
- u_{it} et v_{it} représentent respectivement le terme d'inefficacité commerciale et les termes d'erreur.
- Tout comme Ritter and Simar (1997), pour estimer cette frontière, nous avons supposé que le terme d'inefficacité (u_{it}) suit une loi normale positive de moyenne nulle et de variance constante tandis que le terme d'erreur (v_{it}) suit une loi normale de moyenne nulle et de variance constante. Nous pouvons donc écrire

$$u_i \sim |N\ (0;\ \sigma_u)|\ \ et\ \ v_i \sim N\ (0;\ \sigma_v).$$

- l'efficacité commerciale est donc donnée par la relation :

$$CE = E\left\{\exp(-u_{it}) / (v_{it} - u_{it})\right\}$$

3.2.3.3 La frontière d'efficacité technique

Le modèle utilisé pour évaluer l'efficacité technique des compagnies ferroviaires est identique à celui utilisé pour évaluer l'efficacité de production. Pour rappel l'équation à estimer est la suivante :

Équation 3-7 : **Frontière d'efficacité technique orientée inputs**

$$-\ln x_{nit} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{4}\alpha_{it}\ln x_i^* + \sum_{j=1}^{2}\beta_j \ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\gamma_j \ln y_{jt}\ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{i=1}^{4}\lambda_{ij}\ln x^*_{it}\ln x^*_{it}$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2}\delta_{ij}\ln x_{it}\ln y_{jt} + \varphi_1 t + \varphi_{11}t^2 + \sum_{i=1}^{4}\mu_i t\ln x_{it}^* + \sum_{j=1}^{2}\eta_j t\ln y_{jt} + v_{it} - u_{it}$$

Les variables utilisées dans ce modèle sont :

- Comme inputs de production nous avons : la main d'œuvre (x_{nt}), le nombre de locomotives (x_1), le nombre de wagons (x_2), le nombre de voitures (x_3) et la longueur des voies (x_4). Comme l'exige la méthodologie des frontières, nous avons choisi de normaliser les inputs par la main d'œuvre (x_{nt}).
- les outputs utilisés à ce niveau sont les tonnes-km et les voyageurs-km.
- L'équation 3-8 a été estimée à l'aide du maximum de vraisemblance. Nous avons supposé que $u_i \sim |N(0;\ \sigma_u)|$ et $v_i \sim N(0;\ \sigma_v)$.
- L'efficacité technique a été calculée grâce à la formule suivante :

$$TE = E\{\exp(-u_{it})/(v_{it} - u_{it})\}$$

NB : Pour ce qui est de la variation de la productivité totale et de ses composants, voir la *formule 3-1* pour le calcul de la variation du progrès technique, la *formule 3-2* pour le calcul de la variation de l'efficacité de l'efficacité productive, voir la *Formule 3-3* pour celui de la variation de l'efficacité d'échelle et enfin voir la *formule 3-4* pour le calcul de la variation de la productivité totale des facteurs.

3.3 Analyse et interprétation des résultats

Il est important de rappeler que cette analyse empirique porte sur un panel de 17 pays de l'Union Européenne observés entre 1997 et 2011, soit exactement 255 observations. Ce panel est composé de 3 pays de l'Europe septentrionale (Danemark, Finlande et Suède), 7 de l'Europe orientale (Bulgarie, Hongrie, Pologne, République tchèque, Slovaquie et Roumanie), 4 de l'Europe méridionale (Espagne, Italie, Portugal et

Slovénie) et enfin 4 de l'Europe occidentale (Autriche, Allemagne Belgique et France). Ces pays ont été sélectionnés suivant un critère qui est celui de la disponibilité des données.

Nous avons estimé trois frontières dont une frontière d'efficacité productive (dont les paramètres estimés sont reportés dans le tableau 3-3), une frontière d'efficacité commerciale dont les paramètres estimés sont reportés dans le tableau 3-2 et enfin une frontière d'efficacité technique dont les résultats sont reportés dans le tableau 3-4.

3.3.1 Validation des modèles

Avant de présenter nos résultats, il est important d'analyser les critères de validation des différents modèles qui ont été estimés. L'objectif est donc de savoir si l'approche par les frontières stochastiques est une approche pertinente. En d'autres termes, il s'agit de voir si pour chaque compagnie, l'écart par rapport à la frontière peut s'expliquer par un terme d'inefficacité et un choc aléatoire.

Pour la frontière d'efficacité productive, le test du ratio de vraisemblance (σ_u=0) montre qu'au seuil de 5%, on peut rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle σ_u=0 puisque la probabilité associée à ce test est égale à 0,05%. En d'autres mots, les résultats du test du ratio de vraisemblance permettent de rejeter l'hypothèse d'absence d'inefficacité productive. Ce résultat montre également que le modèle de frontière est préférable au modèle des Moindres Carrés Ordinaires (MCO). La valeur du ratio σ_u/σ_v étant égale à 1,98 et supérieure à l'unité, l'inefficacité est donc un facteur non négligeable. L'analyse du ratio de vraisemblance et la valeur du ratio σ_u/σ_v montrent que l'inefficacité joue un important rôle dans le calcul des gains de productivité.

Pour la frontière d'efficacité commerciale, les résultats sont identiques. La valeur de la probabilité associée au test du ratio de vraisemblance est égale à 0,0%, ce qui montre que le modèle de frontière stochastique est préférable au modèle estimable par les MCO, puisque cette valeur nous permet de rejeter l'hypothèse de l'absence d'inefficacité commerciale. Dans le même ordre d'idées, la valeur du ratio σ_u/σ_v est égale à 2,63, ce qui montre également que l'inefficacité commerciale est un facteur non négligeable.

Enfin pour la frontière d'efficacité technique, la probabilité associée au test du ratio de vraisemblance est égale à 0,0% et le ratio σ_u/σ_v est estimé à 5,88. Ces résultats montrent d'une part que l'on peut rejeter l'hypothèse de l'absence d'inefficacité technique

et d'autre part que l'inefficacité technique joue un rôle important dans la détermination des gains de productivité.

Quelle que soit la frontière, la majorité des paramètres estimés sont statistiquement différents de zéro et ils ont les signes espérés. En particulier, tous les paramètres d'ordre 1 sont significatifs au seuil de 5% et ont les signes espérés.

Les signes associés aux paramètres d'ordre 1 montrent que l'écart par rapport à la frontière se réduit avec le niveau d'outputs et augmente avec le niveau des inputs. Ce résultat montre que la distance par rapport à la frontière est une fonction décroissante du niveau des outputs et une fonction croissante du niveau des inputs, résultat qui est donc conforme avec les propriétés des frontières orientées inputs.

Les paramètres estimés d'ordre 1 de la frontière d'efficacité productive montrent qu'une augmentation de 1% du personnel de la compagnie (respectivement du nombre de voitures) entraîne une augmentation de 10% (respectivement de 75%) de l'écart de cette compagnie par rapport à la frontière. Dans le même ordre d'idées, une augmentation de 1% du nombre de locomotives (respectivement de 1% de la longueur des voies) entraîne une augmentation de 25% (respectivement de 42%) de la distance de la compagnie par rapport à la frontière. Les résultats montrent également qu'une augmentation de 1% du nombre de trains-km de voyageurs (respectivement de 1% du nombre de trains-km de fret) entraîne une réduction de 79% (respectivement 21%) de l'écart par rapport à la frontière.

Pour la frontière commerciale, les résultats montrent qu'une augmentation de 1% du nombre de trains-km de voyageurs (respectivement de 1% du nombre de trains-km de fret) augmente de 16% (respectivement de 84%) l'écart par rapport à la frontière. Du point de vue des outputs, une augmentation de 1% du nombre de voyageurs-km (respectivement de 1 % du nombre de tonnes-km) entraîne une réduction de 22% (respectivement de 70%) de l'écart par rapport à la frontière d'efficacité commerciale.

Enfin pour la frontière d'efficacité technique, les résultats montrent qu'une augmentation de 1% du personnel de la compagnie (respectivement du nombre de voitures) entraîne une augmentation de 12% (respectivement de 60%) de l'écart de cette compagnie par rapport à la frontière. Enfin, une augmentation de 1% de la longueur des voies entraîne une augmentation de 46% de la distance de la compagnie par rapport à la frontière.

L'ensemble de ces résultats montre que l'approche par la méthode des frontières est une approche pertinente puisque nos résultats satisfont aux propriétés des frontières.

Tableau 3-2 : **Paramètres estimés de la frontière d'efficacité commerciale**

FONCTION DISTANCE ORIENTEE OUTPUTS						
	Coef,	Std,Err,	z	P>|z|	[95% Conf,	Interval]
TONKM	-0,705***	-0,031	-22,640	0,000	-0,766	-0,644
VOKM	-0,221***	-0,030	-7,331	0,000	-0,280	-0,162
TRAINKMF	8,38E-01	0,045	18,490	0,000	0,749	0,926
TRAINKMV	0,162***	-0,045	3,584	0,000	0,074	0,251
TONKM^2	-1,263***	-0,122	-10,340	0,000	-1,503	-1,024
VOKM^2	-0,990***	-0,099	-9,965	0,000	-1,185	-0,795
TRAINKMV^2	-0,188***	-0,019	-9,852	0,000	-0,225	-0,150
TRAINKMF^2	-1,88E-01	0,019	-9,850	0,000	-0,225	-0,150
TRAINKMF*TRAINKMV	1,88E-01	0,019	9,850	0,000	0,150	0,225
TONKM*VOKM	1,078***	-0,109	9,881	0,000	0,864	1,291
TONKM*TRAINKMF	1,58E+00	0,147	10,710	0,000	1,288	1,865
TONKM*TRAINKMV	-1,576***	-0,147	-10,710	0,000	-1,865	-1,288
VOKM*TRAINKMF	-1,35E+00	0,135	-10,030	0,000	-1,617	-1,088
VOKM*TRAINKMV	1,353***	-0,135	10,030	0,000	1,088	1,617
TONKM*TEMPS	0,0460***	-0,007	6,483	0,000	0,032	0,060
VOKM*TEMPS	-0,0425***	-0,007	-6,125	0,000	-0,056	-0,029
TRAINKMF*TEMPS	-8,42E-02	0,010	-8,130	0,000	-0,105	-0,064
TRAINKMV*TEMPS	0,0842***	-0,010	8,128	0,000	0,064	0,105
TEMPS	0,0124***	-0,003	4,139	0,000	0,007	0,018
TEMPS^2	1,38E-05	-0,001	0,023	0,981	-0,001	0,001
Constant	0,209***	-0,022	9,462	0,000	0,166	0,252
lnsig2v	-5,301***	-0,333	-15,930	0,000	-5,953	-4,648
lnsig2u	-3,368***	-0,198	-16,980	0,000	-3,756	-2,979
sigma_v	7,06E-02	0,012			0,051	0,098
sigma_u	1,86E-01	0,018			0,153	0,225
sigma2	3,95E-02	0,006			0,028	0,051
lambda	2,63E+00	0,028			2,573	2,684
Standard errors in parentheses						
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1						
Likelihood-ratio test of sigma_u=0: chibar2(01) = 11.34 Prob>=chibar2 = 0.000						

3.3.2 Analyse globale

Avant de s'intéresser à l'évolution temporelle des trois indicateurs d'efficacité que nous avons calculés, il est important de vérifier s'il existe une différence significative entre eux. Pour ce faire nous avons effectué le test de Wilcoxon-Mann-Whitney plus connu sous nom du test de la somme des rangs de Wilcoxon. Il s'agit d'un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse selon laquelle la distribution des données est la même dans deux groupes. Appliqué à notre analyse, ce test permet de voir si les distributions des efficacités sont différentes. Les hypothèses testées ainsi que les résultats de ces tests sont rapportés dans le tableau 3-5.

D'après ce tableau, on constate d'une part qu'il existe une différence significative entre la distribution de l'efficacité productive et celle de l'efficacité commerciale ; d'autre

part, qu'il existe une différence significative entre la distribution de l'efficacité productive et celle de l'efficacité technique. Par contre il n'existe pas de différence significative entre la distribution de l'efficacité commerciale et celle de l'efficacité technique

Tableau 3-3 : **Paramètres estimés de la frontière d'efficacité productive**

FONCTION DISTANCE ORIENTEE INPUTS						
	Coef,	Std,Err,	z	P>|z|	[95% Conf,	Interval]
TRAINKMF	-0,209***	-0,040	-5,287	0,000	-0,287	-0,132
TRAINKMV	-0,792***	-0,038	-20,690	0,000	-0,867	-0,717
PERSONNEL	-0,104***	-0,044	-2,350	0,019	-0,191	-0,017
WAGON	-0,315***	-0,037	-8,461	0,000	-0,387	-0,242
VOITURE	0,751***	-0,054	13,940	0,000	0,645	0,857
LOCOMOTIVE	0,249***	-0,051	4,861	0,000	0,148	0,349
VOIES	0,419***	-0,033	12,720	0,000	0,355	0,484
TRAINKMFS^2	0,507***	-0,163	3,109	0,002	0,187	0,827
TRAINKMV^2	0,756***	-0,175	4,322	0,000	0,413	1,099
TRAINKM×FTRAINKMV	-0,585***	-0,163	-3,577	0,000	-0,905	-0,264
PERSONNEL^2	-1,47E-02	-0,161	-0,090	0,927	-0,330	0,301
WAGON^2	-0,0239***	-0,009	-2,665	0,008	-0,042	-0,006
VOITURE^2	2,080***	-0,391	5,314	0,000	1,313	2,847
LOCOMOTIVE^2	-0,408***	-0,128	-3,186	0,001	-0,659	-0,157
VOIES^2	0,934***	-0,155	6,033	0,000	0,631	1,237
TRAINKMF×PERSONNEL	-5,34E-01	0,104	-5,150	0,000	-0,737	-0,330
TRAINKMF×WAGON	0,252**	-0,107	2,346	0,019	0,041	0,462
TRAINKMF×VOITURE	1,117***	-0,165	6,761	0,000	0,793	1,441
TRAINKMF×LOCOMOTIVE	-0,293*	-0,156	-1,884	0,060	-0,598	0,012
TRAINKMF×VOIES	-0,542***	-0,085	-6,372	0,000	-0,709	-0,375
TRAINKMV×PERSONNEL	2,73E-01	-0,102	2,680	0,007	0,073	0,474
TRAINKMV×WAGON	-1,76E-01	-0,113	-1,562	0,118	-0,397	0,045
TRAINKMV×VOITURE	-1,130***	-0,171	-6,609	0,000	-1,465	-0,795
TRAINKMV×LOCOMOTIVE	0,503***	-0,156	3,214	0,001	0,196	0,809
TRAINKMV×VOIES	0,530***	-0,091	5,840	0,000	0,352	0,708
PERSONNEL×WAGON	-0,4650***	-0,108	-4,310	0,000	-0,677	-0,254
PERSONNEL×VOITURE	-0,8512***	-0,205	-4,150	0,000	-1,253	-0,449
PERSONNEL×LOCOMOTIVE	1,5428***	-0,187	8,270	0,000	1,177	1,909
PERSONNEL×VOIES	-0,2119***	-0,100	-2,130	0,033	-0,407	-0,017
WAGON×VOITURE	0,410***	-0,141	2,900	0,004	0,133	0,687
WAGON×LOCOMOTIVE	-9,18E-02	-0,149	-0,616	0,538	-0,384	0,200
WAGON×VOIES	0,171*	-0,097	1,767	0,077	-0,019	0,361
VOITURE×LOCOMOTIVE	-0,894***	-0,178	-5,034	0,000	-1,242	-0,546
VOITURE×VOIES	-0,744***	-0,199	-3,737	0,000	-1,134	-0,354
LOCOMOTIVE×VOIES	-1,49E-01	-0,126	-1,185	0,236	-0,395	0,097
TRAINKMF×TEMPS	0,0212**	-0,010	2,067	0,039	0,001	0,041
TRAINKMV×TEMPS	-0,0342***	-0,010	-3,342	0,001	-0,054	-0,014
PERSONNEL×TEMPS	-0,0621***	-0,009	-6,610	0,000	-0,081	-0,044
WAGON×TEMPS	0,0165**	-0,008	1,974	0,048	0,000	0,033
VOITURE×TEMPS	0,0366**	-0,014	2,551	0,011	0,008	0,065
LOCOMOTIVE×TEMPS	0,0635***	-0,008	7,601	0,000	0,047	0,080
VOIES×TEMPS	-0,0542***	-0,010	-5,688	0,000	-0,073	-0,036
TEMPS	-0,0111***	-0,004	-2,817	0,005	-0,019	-0,003
TEMPS^2	1,68E-04	-0,001	0,119	0,905	-0,003	0,003
Constant	-2,99E-02	-0,027	-1,093	0,274	-0,084	0,024
lnσ_v^2	-5,140***	-0,333	-15,45	0,000	-5,792	-4,488
lnσ_u^2	-3,775***	-0,295	-12,81	0,000	-4,352	-3,197
σ_v	7,65E-02	0,0127			0,055	0,106
σ_u	1,51E-01	0,0223			0,113	0,202
sigma2	2,88E-02	0,0053			0,019	0,039
σ_u/σ_v	1,98E+00	0,0337			1,913	2,045
Standard errors in parentheses						
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1						
Likelihood-ratio test of sigma_u=0: chibar2(01) = 6.53 Prob>=chibar2 = 0.005						

Tableau 3-4 : **Paramètres estimés de la frontière d'efficacité technique**

FONCTION DISTANCE ORIENTEE INPUTS						
	Coef,	Std,Err,	z	P>|z|	[95% Conf,	Interval]
TONKM	-0,380***	-0,032	-11,800	0,000	-0,443	-0,317
VOKM	-0,512***	-0,027	-18,810	0,000	-0,566	-0,459
PERSONNEL	0,122***	-0,056	2,160	0,031	0,011	0,233
WAGON	-0,119***	-0,039	-3,051	0,002	-0,195	-0,043
VOITURE	0,604***	-0,069	8,713	0,000	0,468	0,740
LOCOMOTIVE	-0,069	-0,059	-1,161	0,246	-0,185	0,047
VOIES	0,461***	-0,038	12,200	0,000	0,387	0,535
TONKM^2	0,651***	-0,144	4,535	0,000	0,370	0,933
VOKM2	0,501***	-0,135	3,721	0,000	0,237	0,764
TONKM×VOKM	-0,523***	-0,129	-4,063	0,000	-0,776	-0,271
PERSONNEL^2	0,509	0,206	2,470	0,014	0,105	0,914
WAGON2	-0,001	-0,008	-0,124	0,902	-0,017	0,015
VOITURE^2	2,459***	-0,521	4,720	0,000	1,438	3,481
LOCOMOTIVE^2	-0,552***	-0,130	-4,245	0,000	-0,807	-0,297
VOIES^2	1,166***	-0,199	5,868	0,000	0,776	1,555
TONKM×PERSONNEL	-0,3633***	-0,103	-3,520	0,000	-0,566	-0,161
TONKM×WAGON	-0,042	-0,099	-0,416	0,678	-0,237	0,154
TONKM×VOITURE	0,975***	-0,188	5,197	0,000	0,607	1,342
TONKM×LOCOMOTIVE	-0,246**	-0,124	-1,982	0,048	-0,489	-0,003
TONKM×VOIES	-0,324***	-0,096	-3,378	0,001	-0,512	-0,136
VOKM×PERSONNEL	0,3125***	-0,103	3,050	0,002	0,112	0,513
VOKM×WAGON	0,056	-0,093	0,599	0,549	-0,127	0,239
VOKM×VOITURE	-0,805***	-0,192	-4,188	0,000	-1,182	-0,428
VOKM×LOCOMOTIVE	0,286**	-0,117	2,446	0,014	0,057	0,515
VOKM×VOIES	0,151**	-0,066	2,288	0,022	0,022	0,281
PERSONNEL×WAGON	-0,254***	-0,103	-2,530	0,011	-0,450	-0,057
PERSONNEL×VOITURE	-1,184***	-0,263	-4,500	0,000	-1,700	-0,668
PERSONNEL×LOCOMOTIVE	1,2707***	-0,211	6,020	0,000	0,857	1,685
PERSONNEL×VOIES	-0,342***	-0,118	-2,910	0,004	-0,573	-0,111
WAGON×VOITURE	0,204	-0,158	1,292	0,196	-0,105	0,513
WAGON×LOCOMOTIVE	-0,078	-0,166	-0,472	0,637	-0,403	0,247
WAGON×VOIES	0,130	-0,131	0,986	0,324	-0,128	0,387
VOITURE×LOCOMOTIVE	-0,583**	-0,244	-2,394	0,017	-1,060	-0,106
VOITURE×VOIES	-0,896***	-0,215	-4,163	0,000	-1,318	-0,474
LOCOMOTIVE×VOIES	-0,057	-0,162	-0,353	0,724	-0,375	0,261
TONKM×TEMPS	0,006	-0,008	0,747	0,455	-0,010	0,023
VOKM×TEMPS	-0,015**	-0,007	-2,037	0,042	-0,029	-0,001
PERSONNEL×TEMPS	-0,058***	-0,011	-5,230	0,000	-0,079	-0,036
WAGON×TEMPS	-0,004	-0,009	-0,423	0,673	-0,021	0,013
VOITURE×TEMPS	0,049***	-0,015	2,845	0,004	0,014	0,074
LOCOMOTIVE×TEMPS	0,069***	-0,009	8,049	0,000	0,053	0,087
VOIES×TEMPS	-0,052***	-0,009	-5,439	0,000	-0,071	-0,034
TEMPS	0,009**	-0,004	2,161	0,031	0,001	0,018
TEMPS^2	-0,001*	-0,001	-1,709	0,087	-0,002	0,000
Constante	-0,095**	-0,039	-2,415	0,016	-0,173	-0,018
lnσ_v^2	-6,575***	-0,922	-7,134	0,000	-8,382	-4,769
lnσ_u^2	-3,033***	-0,181	-16,730	0,000	-3,389	-2,678
σ_v	0,037	-0,017			0,015	0,092
σ_u	0,219	-0,019			0,184	0,262
sigma2	0,049	-0,008			0,034	0,065
σ_u/σ_v	5,876	-0,035			5,807	5,945

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Likelihood-ratio test of sigma_u=0: chibar2(01) = 22.48 Prob>=chibar2 = 0.000

Tableau 3-5 **: Résultats du test de la somme des rangs de Wilcoxon**

Hypothèses		|z|	P value
H0: EP=EC	H1: EP≠EC	2,571	0,0101
H0: EP=ET	H1: EP≠ET	3,45	0,0006
H0: EC=ET	H1: EC≠ET	1,11	0,2669

Ces résultats nous permettent de conclure qu'une analyse comparative des performances qui utilise plusieurs définitions de la performance peut aboutir à des résultats assez différents.

Grâce au coefficient de corrélation de Spearman, nous avons pu mesurer le degré de dépendance statistique entre ces différents indicateurs. Les résultats de ces calculs sont rapportés dans le tableau 3-6. Il est important de rappeler qu'en statistique, la corrélation de Spearman permet de donner une mesure de la dépendance statistique non paramétrique entre deux variables. Cette corrélation est étudiée lorsque deux variables statistiques semblent corrélées sans que la relation soit affine. Elle consiste à trouver une corrélation non pas entre les valeurs prises par les deux variables mais entre les rangs de ces deux valeurs.

Le coefficient de corrélation entre l'efficacité productive et l'efficacité commerciale, est estimé à – 0,335, il est significatif pour un seuil de 5%. Ce chiffre montre qu'il existe une relation négative entre l'efficacité productive et l'efficacité commerciale. En d'autres mots, les compagnies ferroviaires qui ont un niveau élevé d'efficacité productive, ont probablement un faible niveau d'efficacité technique.

Tableau 3-6 : **Corrélation de Spearman**

	EP	EC	ET
EP	1		
EC	-0,3554*	1	
ET	0,4181*	0,1641*	1
* p<0,05			

Dans le même ordre d'idées, les résultats montrent qu'il existe une relation positive et significative entre l'efficacité productive et l'efficacité technique. Ce coefficient est estimé à 0,418 et il est significatif au seuil de 5%. Ce chiffre montre que les compagnies qui ont un niveau élevé d'efficacité productive ont probablement un niveau élevé d'efficacité technique.

Enfin entre l'efficacité commerciale et l'efficacité technique, le coefficient de corrélation est estimé à 0,164, il est donc positif et significatif au seuil de 5%. On peut en

déduire que les compagnies ferroviaires qui ont un niveau élevé d'efficacité commerciale ont probablement un niveau élevé d'efficacité technique.

3.3.2.1 Analyse de l'évolution moyenne des efficacités.

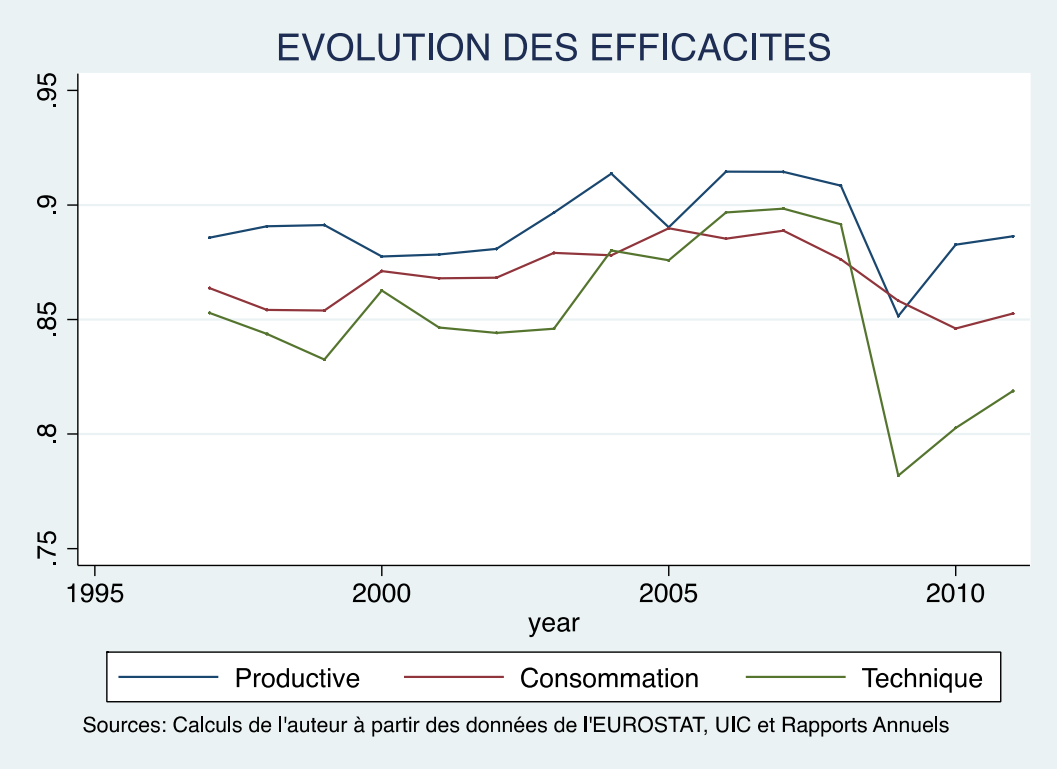


Figure 3-2 : **Évolution des efficacités entre 1997 et 2011.**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

La figure 3-2, affiche l'évolution respective de l'efficacité productive, de l'efficacité commerciale et l'efficacité technique entre 1997 et 2011.

***L'efficacité productive*.**

L'analyse de l'efficacité productive nous permet de distinguer trois séquences :

- La première séquence qui va de 1997 à 2000 est marquée par une évolution à la baisse de cet indicateur. Ce résultat montre qu'en moyenne, sur cette période, les compagnies ferroviaires ont enregistré des pertes d'efficacité.
- Entre 2000 à 2008 l'efficacité technique suit un trend croissant, ce qui traduit une amélioration de l'efficacité productive.
- Enfin la troisième séquence (2008-2011) est marquée par une évolution à la baisse de l'efficacité productive. L'évolution à la baisse constatée peut en partie s'expliquer par les conséquences sur la demande de la crise financière de 2008.

***L'efficacité* commerciale**

Rappelons que l'efficacité commerciale mesure la capacité des compagnies ferroviaires à transformer le nombre de trains-km de voyageurs et le nombre de trains-km de fret en voyageurs-km et en tonnes-km. L'analyse de cet indicateur nous permet de distinguer deux périodes. La première qui va de 1997 à 2008 est marquée par une évolution à la hausse de cet indicateur. Cette croissance est rapidement stoppée par la crise de 2008 puisqu'à partir de cette date, l'efficacité commerciale évolue à la baisse. Ainsi, la seconde période (2008-2011) est marquée par une perte d'efficacité puisque l'efficacité commerciale évolue à la baisse.

L'efficacité technique

À titre de rappel, l'efficacité technique permet de mesurer la capacité des compagnies ferroviaires à transformer l'ensemble des inputs en voyageurs-km et en tonnes-km. L'évolution de cet indicateur est quasi identique à celle de l'efficacité productive. Entre 1997 et 1999, en moyenne, l'efficacité technique est globalement décroissante, ce qui traduit une perte d'efficacité ou une baisse de performance. Entre 1999 et 2008, l'efficacité technique est globalement croissante. Cette croissance est rapidement stoppée par la crise de 2008 puisqu'à partir de cette date, l'efficacité technique évolue à la baisse.

3.3.2.2 Analyse de la productivité totale et ses composants.

Il est important de rappeler que la productivité totale et ses composants ont été calculés grâce aux frontières. Ces indicateurs ont été calculés après estimation de la frontière d'efficacité de production et après estimation de la frontière d'efficacité technique. Pour faciliter cette présentation, la productivité totale évaluée après estimation de la frontière de production sera notée TFP1 tandis que celle calculé après estimation de la frontière d'efficacité technique sera notée TFP3.

Pour faciliter la compréhension, il est important de rappeler qu'une valeur supérieure à l'unité de la productivité totale ou de l'un de ses facteurs traduit une amélioration de celui-ci tandis qu'une valeur inférieure à l'unité traduit une baisse. Enfin une valeur égale à l'unité traduirait une stabilité de l'indicateur.

3.3.2.2.1 Analyse de la productivité totale 1 (TFP1)

L'analyse descriptive montre qu'entre 1997 et 2011, la productivité totale moyenne est estimée à 1,0006 avec un minimum de 0,9124 et un maximum de 1,039. Ces chiffres montrent qu'en moyenne, entre 1997 et 2011, les compagnies ferroviaires européennes ont

réalisé un gain de productivité annuel de 0,06%. La figure 3-3 présente l'évolution moyenne de cet indicateur entre 1997 et 2011 tandis que le tableau 3-7 rapporte les valeurs moyennes de la variation de la productivité totale des facteurs et celles de ses composants.

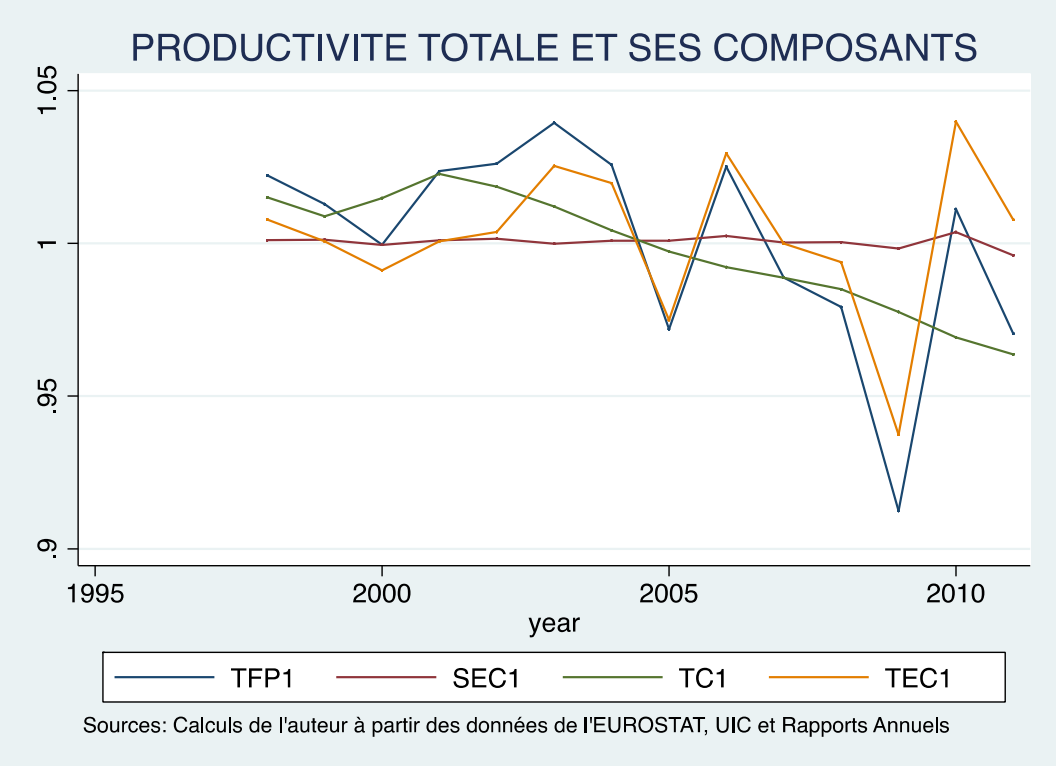


Figure 3-3 : **Évolution de la productivité totale 1 et ses composants entre 1997 et 2011.**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

L'analyse temporelle de cet indicateur nous permet de distinguer deux séquences. La première séquence qui va de 1997 à 2009 est marquée par une évolution à la baisse de la productivité des facteurs. Ce qui peut également se traduire par une perte de productivité. Cette perte de productivité devient plus importante avec la crise de 2008. Ce résultat montre que les performances du transport en général et celles du transport ferroviaire en particulier sont liées à des facteurs internes et externes.

Comme on l'a signalé plus haut, nous avons décomposé la productivité totale 1 en trois facteurs qui sont : la variation du niveau d'efficacité productive (TEC1), la variation du progrès technique (TC1) et la variation de l'efficacité d'échelle (SEC1). Chaque composant joue un rôle spécifique.

Tableau 3-7 : Valeur moyenne de la variation de la productivité totale 1 et ses composants

Année	TFP1	SEC1	TC1	TEC1
1997				
1998	1,0223	1,0010	1,0151	1,0079
1999	1,0129	1,0012	1,0088	1,0007
2000	0,9996	0,9995	1,0148	0,9912
2001	1,0237	1,0010	1,0227	1,0007
2002	1,0261	1,0015	1,0185	1,0038
2003	1,0395	0,9999	1,0121	1,0254
2004	1,0257	1,0009	1,0043	1,0197
2005	0,9719	1,0009	0,9974	0,9749
2006	1,0251	1,0024	0,9922	1,0295
2007	0,9888	1,0003	0,9888	1,0000
2008	0,9792	1,0004	0,9850	0,9938
2009	0,9124	0,9983	0,9776	0,9374
2010	1,0112	1,0037	0,9692	1,0399
2011	0,9705	0,9961	0,9637	1,0077

La variation du niveau d'efficacité productive (TEC1) mesure les gains de productivité qui sont réalisés grâce à une amélioration du niveau d'efficacité productive. Les résultats montrent qu'entre 1997 et 2011, la moyenne de la variation de l'efficacité productive est estimée 1,002, ce qui montre qu'une amélioration du niveau d'efficacité contribue positivement à la réalisation des gains de productivité. Résultat que l'on obtient également en calculant le coefficient de corrélation de Spearman. Comme le montre le tableau 3-1, le coefficient de corrélation entre la variation de l'efficacité productive et la variation de la productivité totale est évalué 0,345. Il est positif et statistiquement différent au seuil de 5%, ce qui montre qu'il existe une corrélation positive et significative entre la variation de la productivité totale des facteurs et la variation du niveau d'efficacité productive. Autrement dit toute amélioration du niveau d'efficacité productive pourrait entraîner une réalisation de gains de productivité.

Tableau 3-8 : Corrélation de Spearman 1

	TEC1	SEC1	TC1	TFP1
TEC1	1			
SEC1	-0,0706	1		
TC1	-0,0296	-0,0027	1	
TFP1	0.3451*	0,0027	0.8994*	1
		*P<0.05		

La variation du progrès technique (TC1) mesure la contribution de l'innovation à la formation de la productivité totale des facteurs. Les calculs montrent qu'entre 1997 et 2011, la

valeur moyenne de cet indicateur est estimée à 0,99, ce qui signifie qu'en moyenne, le progrès n'a pas contribué ou ne contribue presque pas à la réalisation des gains de productivité. Néanmoins, la valeur du coefficient de corrélation (0.899 et significative au seuil de 5%) montre qu'il existe une forte corrélation positive et significative entre la variation du progrès technique et la variation de la productivité totale des facteurs. Ainsi une amélioration du progrès technique pourrait accroitre les gains de productivité.

La variation de l'efficacité d'échelle a été retenue comme troisième composant qui pourrait favoriser la réalisation des gains de productivité. Notons que l'efficacité d'échelle cherche à déterminer dans quelle mesure la compagnie fonctionne avec des rendements d'échelle croissants ou décroissants, ce qui permet de définir sa taille optimale. Ainsi l'efficacité d'échelle permet de savoir si la compagnie fonctionne avec une taille optimale. Pour notre échantillon, les données montrent que, la valeur moyenne de variation du niveau d'efficacité d'échelle est estimée à 1,0005. Même si cette valeur moyenne est supérieure à l'unité, on constate néanmoins une faible contribution de l'efficacité d'échelle à la réalisation des gains de productivité. Résultat qui peut également s'observer avec l'analyse du coefficient de corrélation de Spearman, puisque celui-ci n'est pas significatif pour un seuil de 5%. En d'autres termes, le coefficient de Spearman montre qu'il n'existe pas de corrélation significative entre la variation de la productivité totale et la variation de l'efficacité d'échelle.

3.3.2.2.2 Analyse de la productivité totale 3 (TFP3)

La figure 3-4, affiche l'évolution temporelle de cet indicateur tandis que tableau 3-9 rapporte la valeur moyenne. L'analyse descriptive montre qu'entre 1997 et 2011, la valeur moyenne de la productivité totale des facteurs 3 est estimée à 1,014, ce qui se traduit par un gain de productivité moyen de 1,4%.

L'analyse temporelle de la variation de la productivité totale des facteurs nous permet de distinguer trois périodes. La première qui va de 1997 à 2007 est marquée par une évolution à la baisse de cet indicateur. En effet cet indicateur prend des valeurs comprises entre 1,0911 et 1,0064. Malgré cette évolution à la baisse, ces chiffres montrent qu'en moyenne, les compagnies ferroviaires ont réalisé des gains de productivité entre 1997 et 2007 puisque la variation de la productivité totale prend des valeurs supérieures à un. La seconde période quant à elle va de 2007 à 2009.

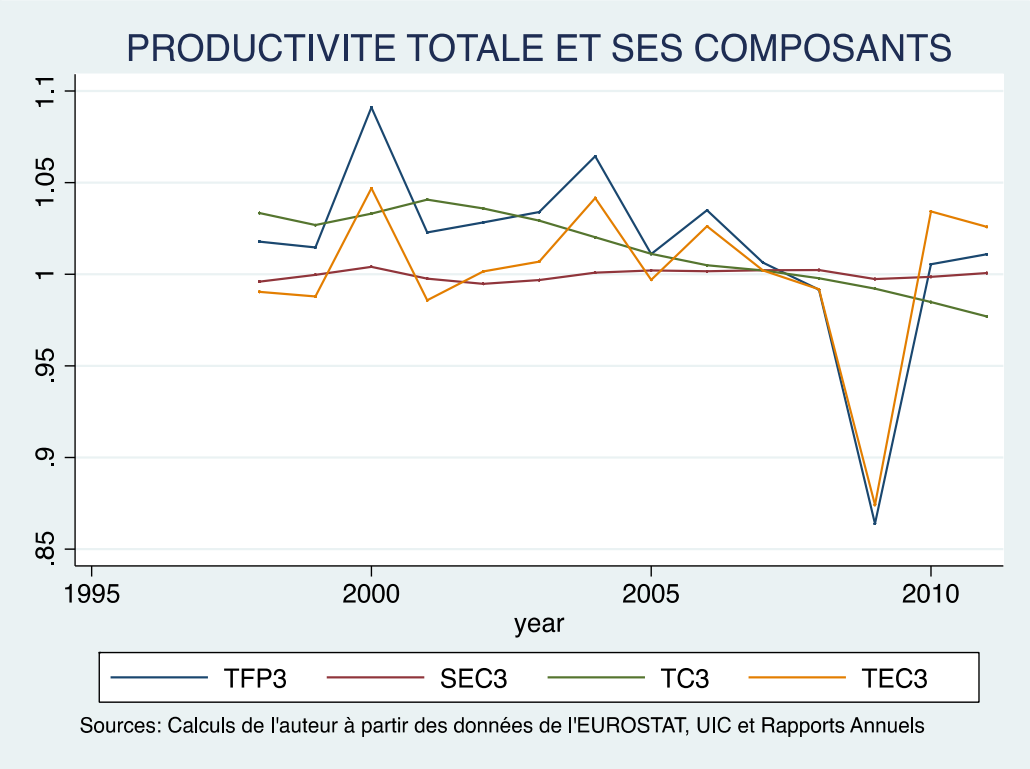


Figure 3-4 : **Évolution de la productivité totale 3 et ses composants entre 1997 et 2011.**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

Celle-ci est caractérisée par l'existence de pertes de productivité, puisque dans cet intervalle de temps, la variation moyenne de la productivité totale des facteurs prend des valeurs comprises entre 1,0064 à 0,8636 en lien sans doute avec la crise financière de 2008. Enfin la troisième période c'est-à-dire 2009 à 2011 est marquée par une évolution à la hausse de cet indicateur, qui se traduirait par des gains de productivité puisque dans cet intervalle de temps, la valeur moyenne de productivité totale des facteurs est comprise entre 0,886 et 1,011.

Les coefficients estimés de la frontière d'efficacité technique nous ont également permis de calculer les composants de la variation de productivité totale des facteurs qui sont, la variation de l'efficacité d'échelle, la variation de l'efficacité technique et la variation du progrès technique. Les évolutions de ces indicateurs sont présentées dans la figure 3-4 tandis que les valeurs moyennes sont rapportées dans le tableau 3-9.

Tableau 3-9 : Valeur moyenne de la variation de la productivité totale 3 et ses composants

Année	TFP3	SEC3	TC3	TEC3
1997				
1998	1,0178	0,9960	1,0334	0,9904
1999	1,0147	0,9997	1,0268	0,9878
2000	1,0911	1,0041	1,0331	1,0470
2001	1,0228	0,9976	1,0407	0,9858
2002	1,0282	0,9948	1,0359	1,0015
2003	1,0339	0,9968	1,0293	1,0069
2004	1,0645	1,0008	1,0201	1,0416
2005	1,0111	1,0021	1,0111	0,9970
2006	1,0349	1,0016	1,0049	1,0262
2007	1,0064	1,0022	1,0021	1,0020
2008	0,9916	1,0023	0,9978	0,9918
2009	0,8638	0,9974	0,9922	0,8741
2010	1,0054	0,9986	0,9848	1,0343
2011	1,0110	1,0007	0,9770	1,0259

Entre 1997 et 2011, la valeur moyenne de la variation du progrès technique est estimée à 1,0135. Ce chiffre montre qu'en moyenne, le progrès technique joue un rôle important dans la réalisation des gains de productivité. Comme le montre le coefficient de Spearman (voir tableau 3-10), il existe une forte corrélation positive et significative entre la variation du progrès technique et la variation de la productivité totale des facteurs. En effet le coefficient de corrélation entre la variation de la productivité totale des facteurs et la variation du progrès technique est égale à 0,7970, il est significatif au seuil de 5%. Le progrès technique joue donc un rôle important dans la détermination des gains de productivité.

Dans l'industrie ferroviaire, le progrès technique peut être assimilé à tout changement de procédé de production. Ceci peut se traduire soit par un développement de la grande vitesse soit par une électrification du réseau ou par une amélioration de la qualité de service.

En effet, les données montrent une amélioration significative du nombre de lignes électrifiées passant ainsi de 39 % en 1997 à environ 55 % en 2011. De même le transport de voyageurs à grande vitesse a connu une parfaite amélioration. En 1997, environ 13 % du transport total de voyageurs est assuré par la grande vitesse tandis qu'en 2011, environ 27 % du transport total de voyageurs est assuré par la grande vitesse. C'est en partie l'ensemble de ces innovations de procédés qui nous permet de constater que le progrès technique est la principale source de gains de productivité.

D'après ce résultat, on peut penser que les compagnies les plus performantes sont celles qui ont une forte progression du progrès technique.

Tableau 3-10 : Corrélation de Spearman 3

	TEC3	SEC3	TC3	TFP3
TEC3	1			
SEC3	0.2371*	1		
TC3	0,0271	0,0648	1	
TFP3	0.5588*	0.1798*	0.7970*	1
		*P<0.05		

La valeur moyenne de la variation de l'efficacité d'échelle est estimée à 0,99. Ce chiffre montre que l'efficacité d'échelle contribue faiblement à la réalisation des gains de production. Néanmoins, comme le montre le coefficient de Spearman, il existe une corrélation positive et significative entre la variation de l'efficacité d'échelle et la variation de la productivité totale des facteurs. Ainsi une amélioration de l'efficacité d'échelle pourrait être un levier pour accroître les gains de productivité.

Enfin le troisième composant est donné par la variation de l'efficacité technique. Celui-ci mesure les gains de productivités que peut réaliser la compagnie suite à une amélioration du niveau d'efficacité technique. Comme le montrent les statistiques descriptives, la valeur moyenne de la variation de l'efficacité technique est estimée à 1,000876. Ce chiffre montre qu'en moyenne, la variation du niveau d'efficacité contribue positivement à la réalisation des gains de productivité, résultat qu'on retrouve avec le coefficient de Spearman. En effet la valeur du coefficient de corrélation entre la variation de l'efficacité technique et la variation de la productivité totale des facteurs est estimée à 0,558, il est significatif au seuil de 5%, ce qui montre qu'il existe une corrélation positive et significative entre la variation de l'efficacité productive et la variation de la productivité totale des facteurs.

3.3.3 Analyse comparative

Dans cette section, nous présenterons une analyse comparative des performances des compagnies ferroviaires par région. Cette analyse comparative à un triple objectif : identifier les régions les plus performantes ; présenter les trajectoires des performances par région ; identifier les pays les plus performants.

3.3.3.1 Efficacité productive

Rappelons que l'efficacité productive mesure la façon dont une compagnie ferroviaire utilise ses inputs de production (longueur des voies, nombre de voitures, nombre de wagons, personnel et nombre de locomotives) pour produire des outputs (le nombre de trains-km de voyageurs et de fret).

Les statistiques descriptives (voir tableau 3-11) montrent qu'entre 1997 et 2011, la moyenne de l'efficacité productive est estimée à 0.907 pour les pays de l'Europe de l'Ouest, 0,906 pour les pays de l'Europe du Nord, 0,89 pour les pays de l'Europe du Sud et enfin 0,86 pour les pays de l'Europe de l'Est. Les pays de l'Europe de l'Ouest sont les plus performants.

Puisque nous avons estimé une frontière d'efficacité orientée inputs, la valeur moyenne d'efficacité obtenue par région nous permet d'affirmer qu'en Europe de l'Est, entre 1997 et 2011, les compagnies ferroviaires pouvaient réduire de 13,1% le niveau des inputs pour le même niveau de production. Dans le même ordre d'idées, cette diminution est de 10,5% pour les pays de l'Europe du Sud, de 9,4% pour les pays de l'Europe du Nord et enfin de 9,3% pour les pays de l'Europe de l'Ouest.

Tableau 3-11 : Statistiques descriptives de l'efficacité productive

VARIABLES	REGIONS	Mean	Std.Dev.	Min	Max
EFFICACITE PRODUCTIVE	EST	0,869386	0,078582	0,653601	0,973815
	NORD	0,906033	0,031890	0,835348	0,969389
	OUEST	0,907232	0,038746	0,795892	0,973135
	SUD	0,895274	0,059646	0,713662	0,964412

Nous avons effectué un test de Kruskal-Wallis dans le but de voir s'il existe une différence significative de distribution d'efficacité productive entre les différentes régions qui constituent notre échantillon. Les résultats de ce test sont rapportés dans le tableau 3-12. Rappelons que l'hypothèse nulle testée est la suivante :

H0 : l'efficacité productive médiane est la même quelle que soit la région, ou

la distribution d'efficacité productive est la même quelle que soit la région.

Les résultats de ce test montrent qu'au seuil de 5%, nous pouvons rejeter l'hypothèse selon laquelle la distribution d'efficacité est la même quelle que soit la région considérée.

Tableau 3-12 : **Test de comparaison des distributions d'efficacité productive par région**

Régions	Observations	Somme des rangs
EST	90	9850
NORD	45	6120
OUEST	60	8529
SUD	60	8141
Chi-2	9,085	
Probabilité	0,0282	

Autrement dit, les résultats du test de comparaison de Kruskal-Wallis montrent qu'il existe au moins deux régions dont les distributions d'efficacité productive sont différentes. Ce qui nous permet d'affirmer que les compagnies les plus performantes sont celles de l'Europe de l'Ouest, elles sont suivies par celles de l'Europe du Nord. Au bas du classement par région on retrouve les compagnies de l'Europe du Sud et celles de l'Europe de l'Est.

La figure 3-5 affiche l'histogramme des valeurs moyennes de l'efficacité productive par pays tandis que l'annexe 3-1 présente les caractéristiques de tendance centrale de cette variable selon les pays.

À la lumière de ces différentes figures, les compagnies les plus performantes sont : la République Tchèque (92,8%), l'Autriche (91,9%), la Suède (91,9%), la Slovénie (91,9%) et l'Allemagne (91,4%). Au bas du classement on retrouve la Roumanie (82,4%), la Slovaquie (85,2%), la Pologne (86,6%) et la Bulgarie (86,7%).

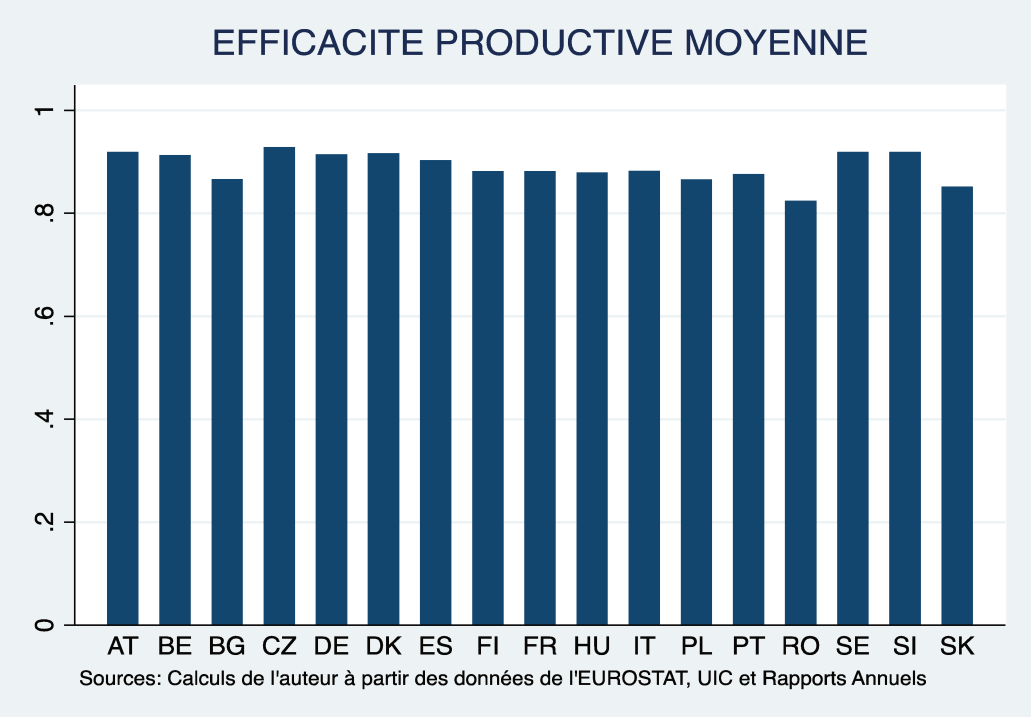


Figure 3-5 : **Efficacité productive moyenne par pays**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

Pour les régions de l'Ouest et du Nord, l'analyse de l'évolution de l'efficacité productive moyenne nous permet de distinguer deux périodes : la première qui va de 1997 à 2008 est marquée par une stabilité de cet indicateur tandis qu'entre 2008 et 2011, il évolue à la baisse. Pour les pays de la région du Sud, l'efficacité productive moyenne est globalement croissante entre 1997 et 2008, puis il décroît entre 2008 et 2011. Enfin pour les pays de l'Europe de l'Est, l'efficacité productive moyenne est globalement décroissante entre 1997 et 2000 puis globalement croissante entre 2000 et 2007 et enfin décroissante entre 2007 et 2011 (voir figure 3-6).

3.3.3.2 Productivité totale 1

Comme on l'a mentionné plus haut, la variation de la productivité totale ainsi que ses différents composants ont été calculés à partir des coefficients estimés de la frontière d'efficacité productive. Pour rappel, les facteurs explicatifs de la variation de la productivité totale sont : la variation du progrès technique (voir la *formule 3-1*), la variation de l'efficacité productive (voir *formule 3-2*) et enfin la variation de l'efficacité d'échelle (voir *formule 3-3*).

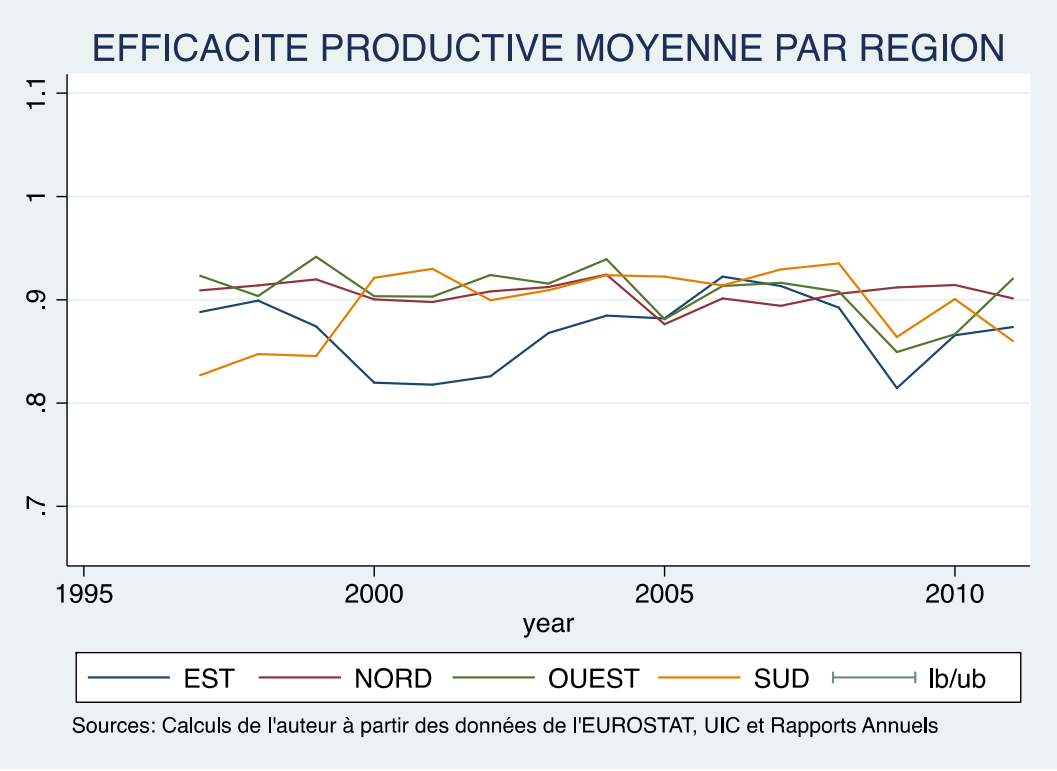


Figure 3-6 : Évolution de l'efficacité productive par région
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

Les statistiques descriptives (voir tableau 3-13) montrent qu'en moyenne, la productivité totale est estimée à 1,103 pour les pays de l'Europe de l'Ouest, 1,053 pour les pays de l'Europe de l'Est, 0,938 pour les pays de l'Europe du Sud et enfin 0,844 pour les pays de l'Europe du Nord. Ces données montrent qu'entre 1997 et 2011, les pays de l'Europe de l'Ouest ont réalisé en moyenne 10,3% de gains de productivité tandis que pour les pays de l'Europe de l'Est, ces gains de productivité sont estimés à 5,30%. Dans le même ordre d'idées, l'on peut constater que les pays de l'Europe du Nord et ceux de l'Europe du Sud ont enregistré des pertes de productivité respectivement de l'ordre de 16,4% et 6,2%.

Tableau 3-13 : **Statistiques descriptives de la variation de la productivité totale 1**

VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTAL 1				
REGIONS	Mean	Std.Dev.	Min	Max
EST	1,052651	0,115227	0,766035	1,593190
NORD	0,844346	0,040180	0,753636	0,922496
OUEST	1,102495	0,120684	0,822106	1,368743
SUD	0,937976	0,130769	0,658432	1,234289

L'analyse temporelle (voir figure 3-7) montre que, pour les pays de l'Europe du Nord, la moyenne de la productivité totale des facteurs est globalement stable sur toute la période mais reste à niveau relativement faible comparé aux autres régions. D'un point de vue de la productivité totale des facteurs, la région du Nord occupe donc le quatrième rang. Pour les pays de l'Europe du Sud, l'on peut également constater que la moyenne de productivité totale est globalement décroissante entre 1997 et 2008 puis elle évolue légèrement à la hausse entre 2009 et 2011. Enfin pour les pays de l'Europe de l'Est et ceux de l'Europe de l'Ouest, l'évolution de la moyenne de la productivité totale est quasi identique. En effet entre 1997 et 2003, tandis que la moyenne de la productivité totale des pays de l'Europe de l'Ouest est globalement stable, celle des pays de l'Europe de l'Est connaît une faible hausse. Par contre entre 2003 et 2009, elle évolue à la baisse dans les deux régions. Enfin entre 2009 et 2011, cet indicateur évolue globalement à la hausse dans les deux régions. On peut néanmoins constater que la courbe de l'évolution de la moyenne de la productivité totale des facteurs des pays de l'Europe de l'Ouest est généralement au-dessus de celle des pays de l'Europe de l'Est, ce qui montre que les pays de l'Europe de l'Ouest sont les plus performants comparés aux autres pays de l'échantillon.

La figure 3-8 affiche l'histogramme des valeurs moyennes de la variation de la productivité totale 1 par pays tandis que l'annexe 3-3 contient les valeurs moyennes de la

variation de la productivité totale 1 et celles de ses principaux déterminants. D'un point de vue de la productivité totale des facteurs, les pays les plus performants sont : l'Allemagne qui réalise en moyenne +22,45% de gains de productivité entre 1997 et 2011, au deuxième rang on retrouve la France avec + 17,02 %, elle est suivie par la Pologne (+ 15,47%). La quatrième place est occupée par l'Italie (+11,81%) tandis qu'en cinquième position on retrouve la République tchèque avec +8,49%. Au bas du classement on retrouve le Danemark (- 18,7%), la Slovénie (-18,1%), la Suède (-14,2%), le Portugal (-13,8%) et enfin la Finlande (-13,8%).

L'analyse du coefficient de corrélation de Spearman (voir tableau 3-10) nous permet de constater qu'il existe une corrélation positive et significative entre la variation du progrès technique et celle de la productivité totale des facteurs. Avec un coefficient de corrélation de 0,899, la variation du progrès technique apparaît comme le principal composant de la variation de la productivité totale des facteurs. Ainsi les pays les plus performants sont probablement ceux dont la variation du progrès technique est la plus élevée.

À l'échelle individuelle, ce résultat se vérifie puisque les cinq pays les plus performants (ceux qui ont une variation de la productivité totale des facteurs plus élevée que les autres) sont en général ceux qui ont une forte variation du progrès technique. En effet la variation du progrès technique est estimée à + 21,68% en Allemagne. Ce pays occupe ainsi le premier rang dans ce classement, il est suivi par la France (+16,60%), la Pologne (+15,34%) l'Italie (+11,8%) et enfin la République tchèque avec +8,41 %. Au bas du classement on retrouve le Danemark (-18,9%), la Slovénie (-16,7%), le Portugal (-15,7%), la Finlande (-13,9%) et enfin la Suède (-13,8%).

Ce résultat montre qu'en moyenne, le progrès technique est le principal déterminant des gains de productivité dans l'industrie ferroviaire. Notons également que les autres composants tels que la variation de l'efficacité d'échelle et la variation du niveau d'efficacité productive ont un faible impact sur la variation de la productivité totale des facteurs 1, puisque ces facteurs ont des valeurs relativement proches de l'unité (annexe 3-3). C'est également ce qu'a montré le coefficient de corrélation de Spearman (voir tableau 3-10).

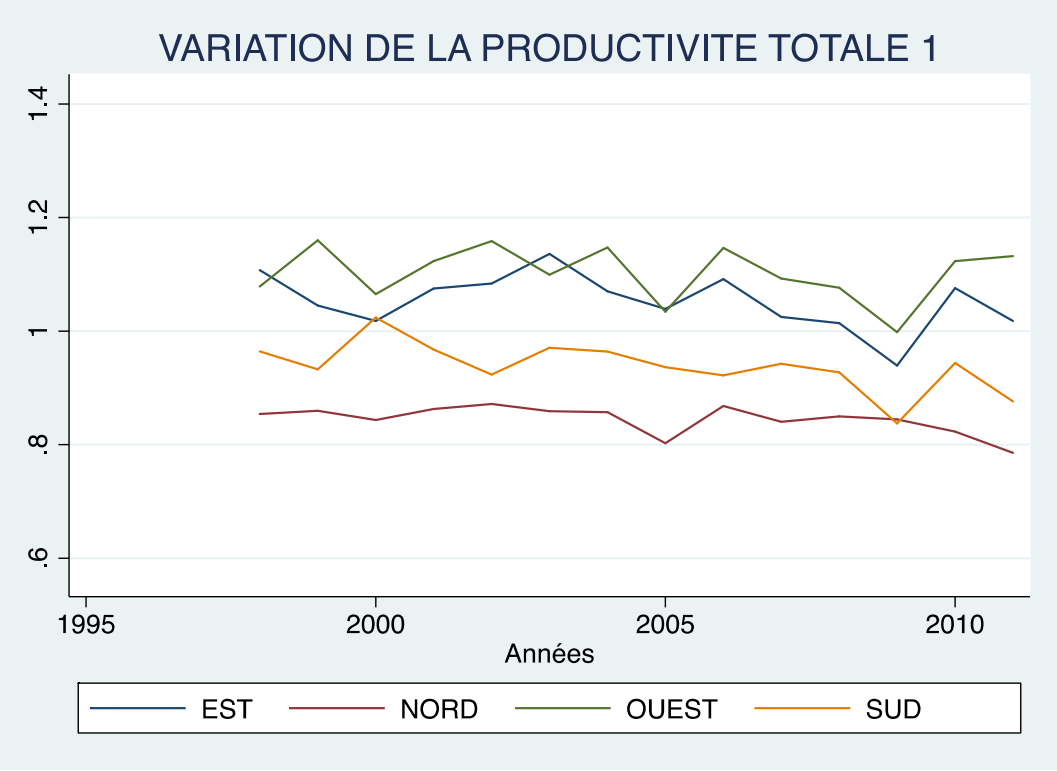


Figure 3-7 : **Évolution de la productivité totale 1 par région**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

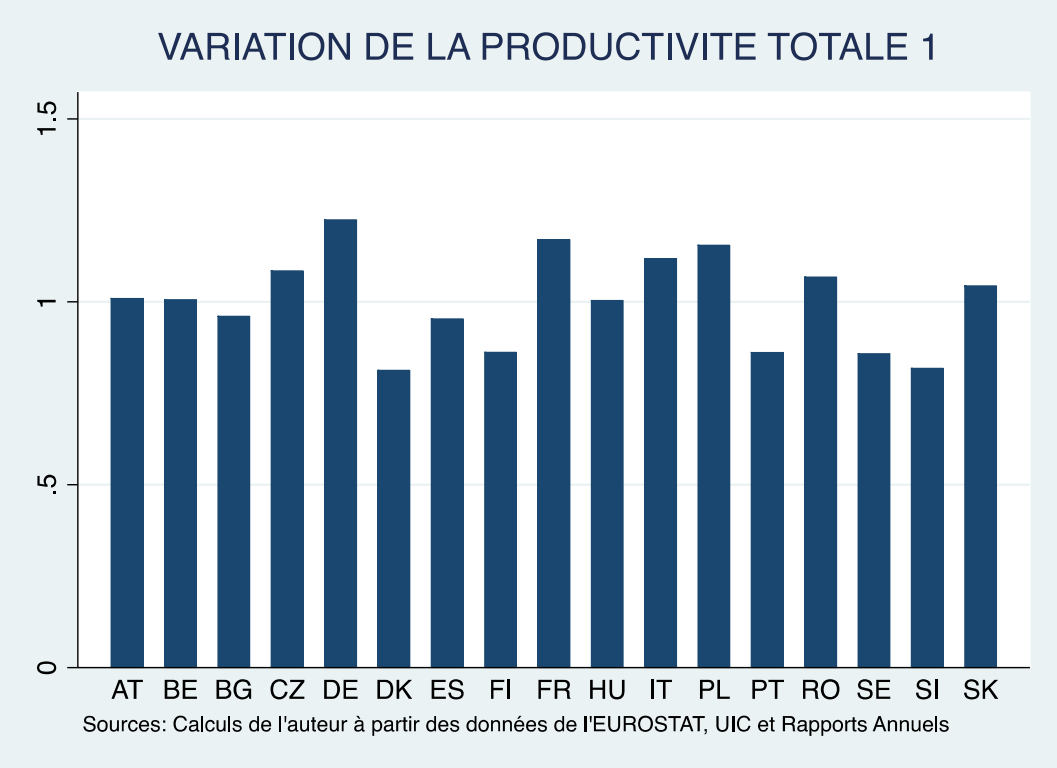


Figure 3-8 : **Moyenne de la variation de la productivité totale 1 par pays entre 1997 et 2011**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

3.3.3.3 Efficacité commerciale

Il est important de rappeler que pour mesurer l'efficacité commerciale, nous avons estimé une frontière dans laquelle le nombre de trains-km de voyageurs et le nombre de trains-km de fret ont joué le rôle des inputs tandis que le nombre de tonnes-km et le nombre de voyageurs-km ont été utilisés comme outputs de production. Les statistiques descriptives de cette variable sont rapportées dans le tableau 3-14.

Tableau 3-14 : **Statistiques descriptives de l'efficacité commerciale**

VARIABLES	REGIONS	Mean	Std.Dev.	Min	Max
EFFICACITE DE CONSOMMATION	EST	0,885080	0,076407	0,675325	0,985383
	NORD	0,877676	0,064536	0,628338	0,948741
	OUEST	0,837413	0,101444	0,593560	0,964276
	SUD	0,869523	0,062882	0,679542	0,971647

Afin de pouvoir identifier la région la plus performante d'un point de vue de l'efficacité commerciale, nous avons effectué un test de comparaison des populations de Kruskal-Wallis. Les résultats de ce test sont rapportés dans le tableau 3-15.

Tableau 3-15 **: Test de comparaison des distributions d'efficacité commerciale par région**

Régions	Observations	Somme des rangs
EST	90	13139
NORD	45	5960
OUEST	60	6431
SUD	60	7110
Chi-2		11,292
Probabilité		0,0102

Les résultats du test de Kruskal-Wallis montrent que pour un seuil de 5%, il existe au moins deux régions dont les distributions d'efficacité sont différentes. Autrement dit, la distribution d'efficacité commerciale varie d'une région à une autre. D'après le tableau 3-14, la région de l'Est apparaît comme étant la plus performante, elle est suivie respectivement par les régions du Nord, du Sud et enfin la région de l'Ouest.

La figure 3-9 présente l'histogramme des valeurs moyennes de l'efficacité commerciale par pays tandis que l'annexe 3-5 contient les caractéristiques de tendance centrale de cette variable. Les résultats montrent que les cinq pays plus performants sont : la Finlande (93,9% d'efficacité), la Roumanie (93,4% d'efficacité), la Pologne (93,3% d'efficacité), le Portugal (91,7% d'efficacité) et enfin la Slovaquie (91,3% d'efficacité). Au bas du classement on retrouve l'Autriche (65,9% d'efficacité), la République tchèque (75,2%

d'efficacité), l'Espagne (79,7% d'efficacité) la Suède (83,9% d'efficacité) et enfin le Danemark (85,4% d'efficacité).

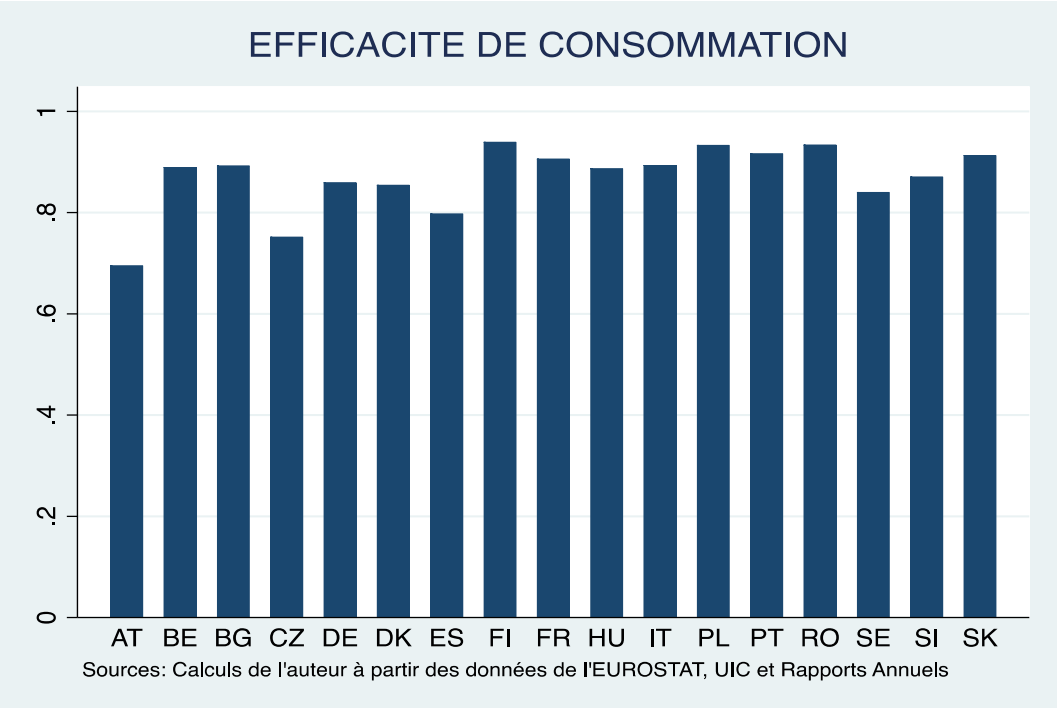


Figure 3-9 : **Histogramme des efficacités commerciales moyennes par pays**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

Pour les pays de l'Europe du Sud, du Nord et de l'Ouest, la moyenne de l'efficacité commerciale est globalement croissante entre 1997 et 2008 puis elle décroît entre 2008 et 2011. Par contre pour les pays de l'Europe de l'Est, la moyenne de l'efficacité commerciale est globalement décroissante entre 1997 et 2011 (voir figure 3-10). On peut néanmoins constater qu'en début de période, les pays de l'Europe de l'Ouest avaient une moyenne d'efficacité commerciale plus faible que les autres régions. Grâce aux efforts réalisés, ces pays ont pu rattraper leur retard dès le début des années 2008. Ces efforts ont malheureusement été rapidement stoppés par la crise de 2008 puisque depuis cette date, la moyenne de l'efficacité commerciale de l'ensemble des régions évolue à la baisse. L'année 2008 peut être considérée comme un point de convergence puisque au cours de cette année, l'efficacité commerciale moyenne est la même pour toutes les régions à l'exception de l'Europe de l'Est. Ce qui montre qu'avant le début de la crise des années 2008, les régions les moins performantes avaient pu rattraper leur retard par rapport aux régions les plus performantes.

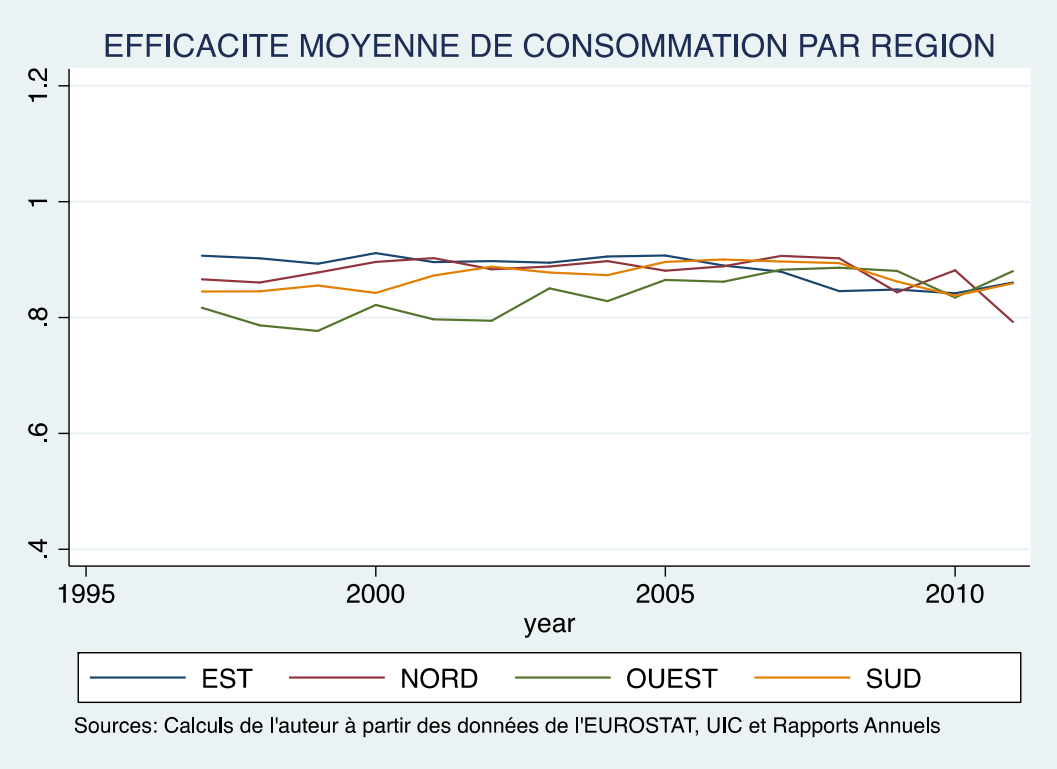


Figure 3-10 : **Évolution de l'efficacité moyenne commerciale par région**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

3.3.3.4 Efficacité Technique

Il est important de rappeler que l'efficacité technique a été calculée après l'estimation d'une frontière de production orientée inputs. L'estimation de cette frontière permet de déterminer les proportions dans lesquelles la compagnie peut réduire ses inputs tout en gardant inchangé le volume de production. Dans cette modélisation, le nombre de wagons, de voitures, de voyageurs, de locomotives, et la main-d'œuvre ont été utilisés comme inputs de production tandis que le nombre de tonnes-km et le nombre de voyageurs-km ont été utilisés comme outputs de production.

L'analyse descriptive, dont les résultats sont rapportés dans le tableau 3-16 montre que les compagnies de l'Europe de l'Ouest sont les plus efficaces. En effet la moyenne de l'efficacité technique des compagnies de l'Europe de l'Ouest est estimée à 88,58%. Ce chiffre montre qu'en réduisant de 11,42% le niveau de leurs inputs, ces compagnies garderont inchangé le niveau de production.

Tableau 3-16 : **Statistiques descriptives de l'efficacité technique**

VARIABLES	REGIONS	MOYENNE	ECART TYPE	MIN	MAX
	EST	0,798866	0,124155	0,489684	0,982225
EFFICACITE	NORD	0,876536	0,081456	0,623950	0,982543
TECHNIQUE	OUEST	0,885806	0,076621	0,571079	0,984551
	SUD	0,877919	0,083051	0,644112	0,978934

Le même raisonnement peut être appliqué aux compagnies ferroviaires de l'Europe de l'Est. En effet dans cette région, l'efficacité technique est estimée à 79,89%, ce qui montre que les compagnies peuvent réduire de 20,11% le niveau des inputs de production pour un même niveau de production. Dans le même ordre d'idées, en Europe du Nord, les compagnies peuvent réduire de 12,35% les inputs pour un même niveau de production tandis qu'en Europe du Sud, cette réduction est estimée à 12,21%.

Afin d'identifier les régions les plus performantes, nous avons effectué un test non paramétrique de comparaison de distribution des efficacités techniques. Parmi l'ensemble des tests disponibles, nous avons choisi celui de Kruskal-Wallis puisque nous sommes en présence de quatre échantillons indépendants. Les résultats de ce test sont rapportés dans le tableau 3-17.

Tableau 3-17 **: Test de comparaison des efficacités techniques**

Régions	Observations	Somme des rangs
EST	90	8640
NORD	45	6400
OUEST	60	8966
SUD	60	8634
Chi-2	26,469	
Probabilité	0,0001	

La probabilité associée à ce test est égale à 0.0001, ce qui signifie que la probabilité de trouver au moins deux régions dont les distributions d'efficacité technique sont différentes est égale à 99,99 %. Autrement dit, il existe 99,99 % de chance de trouver au minimum deux régions dont les distributions des efficacités techniques sont différentes. Grâce aux résultats du test de Kruskal-Wallis, nous pouvons affirmer qu'en moyenne, les compagnies de l'Europe de l'Ouest sont les plus performantes puisqu'elles ont une moyenne d'efficacité estimée à 88,58%. Elles sont suivies par les compagnies de l'Europe du Nord (87,6% d'efficacité technique). Les compagnies de l'Europe du Sud occupent la troisième place avec une moyenne de 87,79% devant compagnies de l'Europe de l'Est (79,89%).

À l'échelle individuelle, les cinq pays les plus performants de notre échantillon sont : l'Autriche (93,08%), la France (91,25%), la Finlande (90,30%), le Portugal (89,86%) et

l'Italie (89,29%). Les cinq compagnies les moins performantes sont : la République tchèque (66,31%), la Roumanie (77,45%), la Bulgarie (80,31%), l'Allemagne (82,41%) et l'Espagne (84,02%).

Pour chaque pays, les caractéristiques de tendance centrale sont rapportées dans l'annexe 3-7 tandis que la figure 3-11 présente l'histogramme des valeurs moyennes des efficacités techniques.

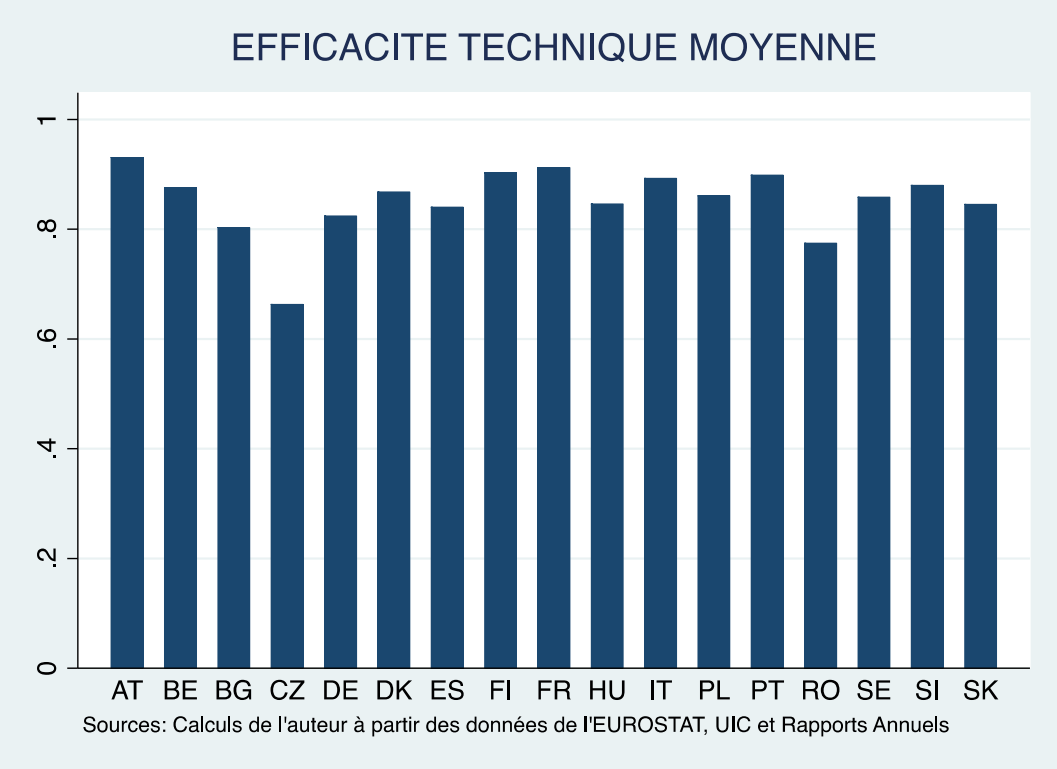


Figure 3-11 : **Histogramme de l'efficacité technique**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

L'analyse temporelle des moyennes des efficacités techniques par région (voir figure 3-12) montre que pour les pays de l'Europe de l'Ouest, de l'Europe du Sud et enfin pour les pays de l'Europe de l'Est, l'efficacité technique moyenne est globalement croissante entre 1997 et 2008, puis elle décroît entre 2008 et 2011. Pour les pays de l'Europe du Nord, la moyenne des efficacités techniques affiche une évolution contraire. En effet entre 1997 et 2009, cet indicateur est globalement décroissant pour les pays de cette région tandis qu'entre 2009 et 2011, il évolue à la hausse.

Ce résultat montre une fois de plus que la performance du chemin de fer d'un pays donné est liée à l'évolution de la conjoncture économique de ce pays puisqu'à partir de 2008,

l'efficacité technique moyenne est globalement décroissante, pour l'ensemble des pays de notre échantillon.

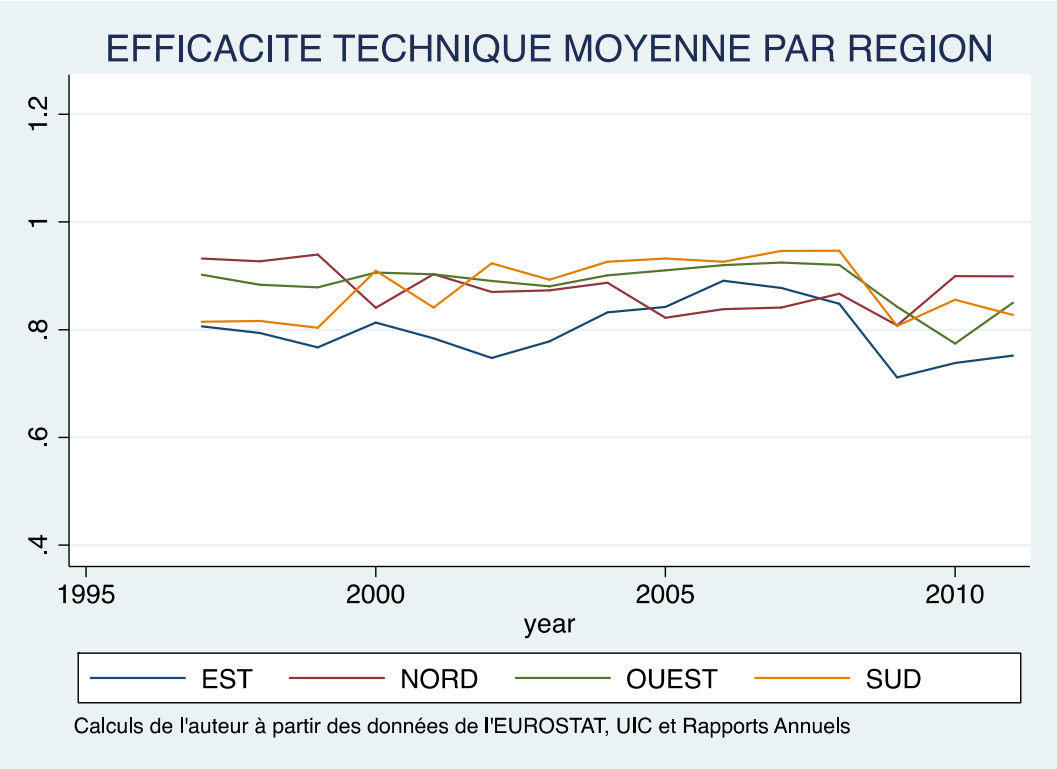


Figure 3-12 : **Évolution des moyennes des efficacités techniques par région**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

L'évolution des indices d'efficacité technique (voir annexe 3-6) montre qu'entre 1997 et 2011, les pays de l'Europe du Sud ont une efficacité technique moyenne supérieure à celle de l'année 1997, tandis que pour les pays de la région de l'Ouest et ceux de la région de l'Est, il faut attendre l'année 2004 pour que l'efficacité technique moyenne soit supérieure à celle de 1997. En d'autres termes, entre 2004 et 2008, les moyennes de l'efficacité technique des pays de la région de l'Ouest et des pays de la région de l'Est sont supérieures au niveau d'efficacité atteint en 1997. Enfin pour les pays de la région du Nord, la moyenne des efficacités techniques est nettement inférieure au niveau réalisé en 1997.

Évaluée par l'efficacité technique, ce résultat montre que depuis 1999, les pays de la région du Sud ont enregistré une amélioration des performances par rapport à l'année 1997. Pour les pays de l'Europe de l'Ouest et ceux de l'Europe de l'Est, la performance s'est améliorée uniquement entre 2004 et 2008, elle est donc stoppée par la crise de 2008. Enfin les pays de l'Europe du Nord ont enregistré une baisse continue de la performance.

3.3.3.5 Variation de la productivité totale 3

Comme on l'a mentionné plus haut, grâce aux paramètres estimés de frontière d'efficacité technique, nous avons pu calculer la productivité totale des facteurs ainsi que ses principaux composants. Pour chaque région, le tableau 3-18 présente les caractéristiques de tendance centrale à savoir la moyenne, l'écart type, le minimum et le maximum de la productivité totale des facteurs 3. D'après ce tableau, l'Europe de l'Ouest est la région la plus performante. Elle enregistre une moyenne de 1,1175, soit un gain moyen de productivité estimé à 11,75 %. Les pays de l'Europe de l'Est occupent la deuxième place avec une moyenne de 1,0487 soit 4,87% de gain de productivité. La troisième place est occupée par la région du Sud qui enregistre une moyenne de 0,9593 soit environ –4,07% de gains de productivité. Enfin la région du Nord arrive en quatrième position avec une moyenne de 0,8801 soit -11,99% de gain de productivité. Ce résultat montre qu'en moyenne, les pays de l'Europe de l'Est et ceux de l'Europe de l'Ouest ont enregistré des gains de productivité entre 1997 et 2011 tandis que ceux des régions du Nord et du Sud ont enregistré des pertes de productivité durant cette même période.

Tableau 3-18 : **Statistiques descriptives de la productivité totale 3**

VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTAL 3				
REGIONS	MOYENNE	ECART TYPE	MIN	MAX
EST	1,048669	0,127825	0,727642	1,372250
NORD	0,880132	0,098277	0,590224	1,190647
OUEST	1,117481	0,133848	0,807250	1,470858
SUD	0,959267	0,154628	0,673826	1,305506

Dans le but de voir si la distribution de la variation de la productivité totale variait d'une région à une autre, nous avons effectué un test de la somme des rangs de Kruskal-Wallis dont les résultats sont rapportés dans le tableau 3-19. D'après les résultats de ce test, nous pouvons affirmer avec une probabilité de 99.99% qu'il existe au moins deux régions dont les distributions de productivité totale des facteurs sont différentes. Ce résultat nous permet donc de constater que les pays de l'Europe de l'Ouest sont les plus performants.

Tableau 3-19 : **Résultats du test de Kruskal-Wallis**

Régions	Observations	Somme des rangs
EST	90	11504
NORD	45	2367
OUEST	60	9268
SUD	60	5302
Chi-squared	73,001	
Probabilité	0,0001	

À l'échelle individuelle, les résultats montrent que les cinq pays les plus performants c'est-à-dire ceux qui ont des gains de productivité les plus élevés de notre échantillon sont : l'Allemagne (+23,4% de gain de productivité), la France (+18,1% de gain de productivité), la Pologne (+16,9% de gain de productivité), l'Italie (+14,7% de gain de productivité) et enfin la République Tchèque (+7,4% de gain de productivité). Au bas du classement on retrouve la Slovénie (-15,7%) la Finlande (-13,5 %), la Suède (-12,1%), le Portugal (-11,9%) et enfin le Danemark (-10,3%). La figure 3-13 présente l'histogramme des valeurs moyennes de la variation de la productivité totale des facteurs tandis que l'annexe 3-10 contient les valeurs moyennes des principaux déterminants de la productivité totale des facteurs.

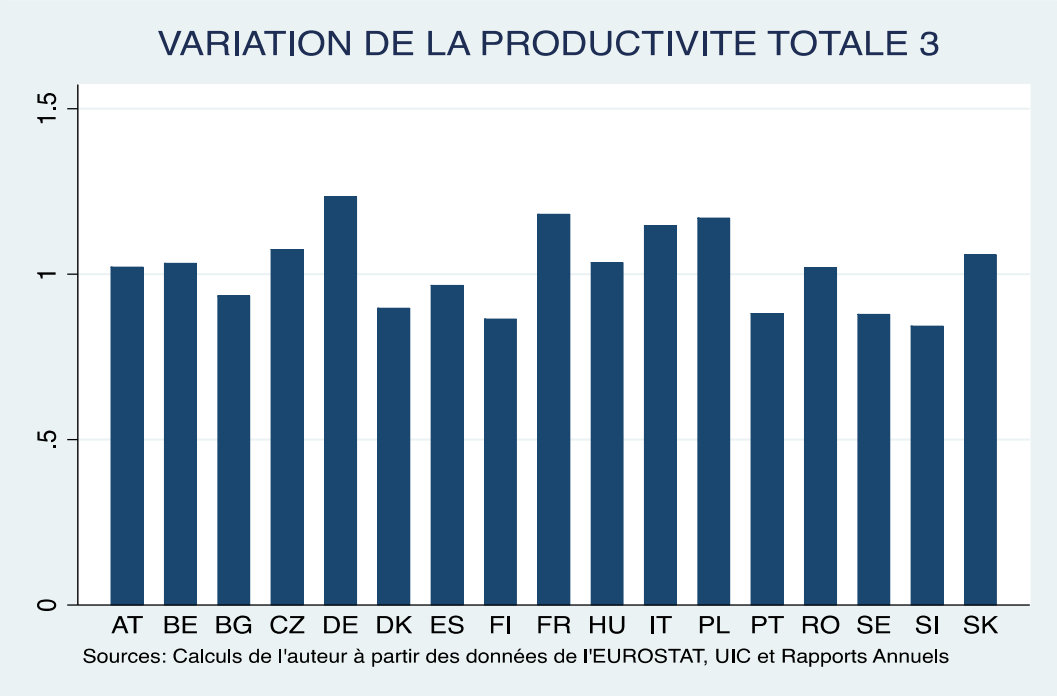


Figure 3-13 : **Histogramme des valeurs moyennes de la variation de la productivité totale 3**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

Comme on le montre le tableau 3-10, il existe une forte corrélation positive et significative entre la variation de la productivité totale des facteurs 3 et la variation du progrès technique, puisque le coefficient de corrélation de Spearman est estimé à 0,797 et il est significatif au seuil de 5%. Ce résultat montre que la variation du progrès technique est le principal composant de la variation de la productivité totale des facteurs.

À l'échelle individuelle ce résultat se confirme puisque les cinq pays les plus performants d'un point de vue de la variation de la productivité totale des facteurs sont ceux qui ont une importante variation du progrès technologique. Cette variation est estimée à

+23,7% pour l'Allemagne, +17,55% pour la France, +14,13% pour la Pologne, +13,4% pour l'Italie et enfin +9,89% pour la République Tchèque.

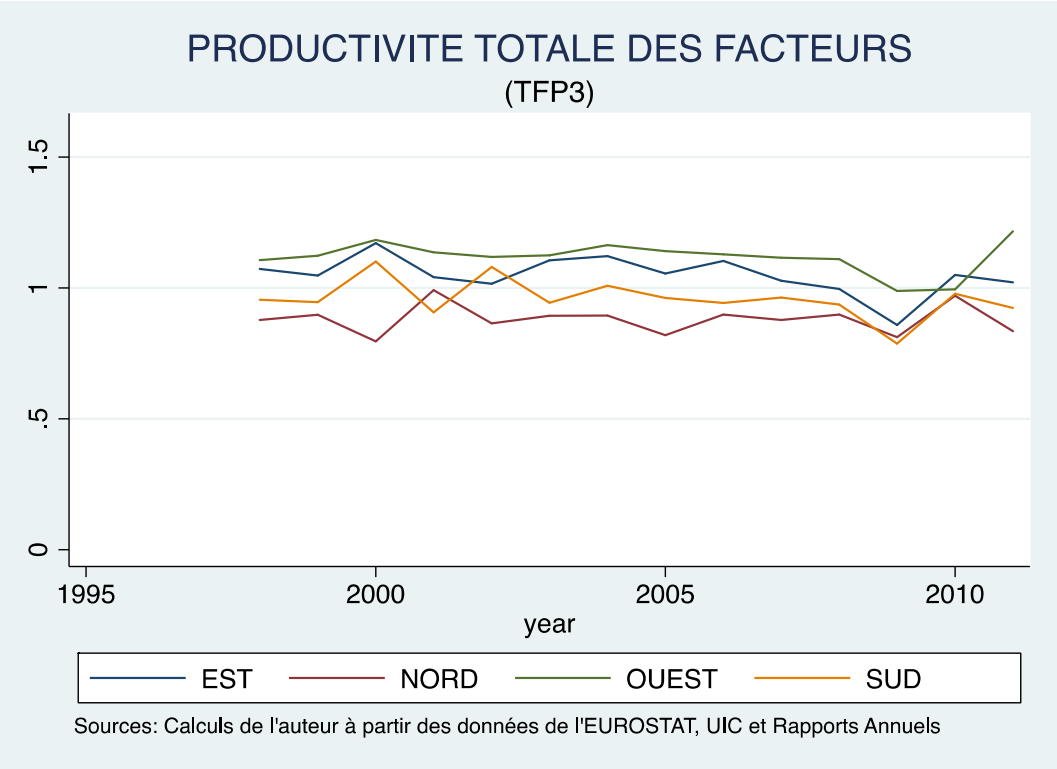


Figure 3-14 : **Variation moyenne de la productivité totale des facteurs 3**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

L'analyse temporelle de la variation moyenne de la productivité totale des facteurs par région nous permet de distinguer deux périodes (voir figure 3-14):

- La première période qui va de 1997 à 2009 est marquée par une évolution à la baisse de la variation de la productivité des facteurs pour l'ensemble des régions. Pour les pays de l'Europe de l'Ouest, cet indicateur prend des valeurs comprises entre 1 et 1,35, tandis que pour les pays de l'Est, cet indicateur prend des valeurs comprises entre 1 et 1,13. Ces chiffres montrent qu'en moyenne, entre 1997 et 2008, les pays de l'Europe de l'Ouest et ceux de l'Europe de l'Est réalisent des gains de productivité. Par contre pour les pays de l'Europe du Nord et ceux de l'Europe du Sud, la moyenne de la variation de la productivité totale des facteurs prend des valeurs inférieures à l'unité. Ce résultat montre qu'en moyenne, les pays de ces régions souffrent d'un manque de productivité.
- Entre 2009 et 2011 (période 2), la variation moyenne de la productivité totale des facteurs est globalement croissante pour l'ensemble des régions. Néanmoins on constate qu'en moyenne seuls les pays de l'Europe de l'Ouest et ceux de l'Europe

de l'Est réalisent des gains de productivité puisque la valeur moyenne de la variation de la productivité totale des facteurs est globalement supérieure à l'unité.

Le chapitre 4 de cette thèse sera consacré à l'analyse des principaux déterminants de performances des chemins de fer. Néanmoins, nous allons essayer de justifier les écarts de performance que nous venons de constater.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les performances des chemins de fer parmi lesquels : le niveau de concurrence intermodale, le taux d'utilisation du matériel roulant et la fréquence d'utilisation du réseau (voir annexe 3-12 pour le résumé).

Deux indicateurs sont généralement utilisés pour évaluer le degré de concurrence intra-modale : la part de marché du transport ferroviaire de voyageurs et la part de marché du transport de fret. Ces indicateurs sont donnés par le nombre de voyageurs-km effectués par le train et le nombre de voyageurs-km réalisés par l'ensemble des modes de transport pour la part de marché du transport ferroviaire de voyageurs et le rapport entre le nombre de tonnes-km effectuées par le train rapporté au nombre de tonnes-km réalisés par l'ensemble des modes de transport pour la part de marché du transport ferroviaire de marchandises.

Pour notre échantillon, la part de marché du transport de voyageurs a connu une légère amélioration entre 1997 et 2011. Elle est passée de 17,3 % en 1997 contre 19,6 % en 2011, soit une croissance de 13,5 %. Cette croissance est principalement attribuée aux pays des régions du Nord, Sud et de l'Ouest. En effet pour les pays de la région de l'Ouest, la part de marché du transport ferroviaire de voyageurs est passée de 37 % en 1997 contre 49 % en 2011, soit une hausse de 32 %. Même si cette hausse peut s'expliquer par les politiques commerciales en vigueur dans ces pays, on ne peut ignorer l'effet significatif du trafic ferroviaire des trains à grande vitesse. En 1997, environ 13 % du trafic était assuré par la grande vitesse contre 25 % en 2011. Pour les pays du Sud, la part de marché du transport de voyageurs connaît une hausse moins importante que celle des pays de l'Ouest. En effet pour cette région, le trafic ferroviaire de voyageurs représentait environ 17 % du trafic total en 1997 contre 18 % en 2011, soit une hausse de 6 %. Durant cette même période, la part du trafic effectué par la grande vitesse est passée de 2 % à 6 %. Pour les pays du Nord, le constat est assez identique puisque le trafic ferroviaire de voyageurs est passé de 5 % en 1997 à 7 % avec une croissance faible du trafic grande vitesse (0,7 % en 1997 contre 1,8 % en 2011). Les pays de l'Est sont caractérisés par une baisse significative de la part de marché du fer (10,18 % en 1997 contre 6, 9 % en 2011).

Pour l'activité fret, les résultats sont assez contrastés. Pour l'ensemble de l'échantillon, la part du fret a chuté de 3,15 % entre 1997 et 2011. Les régions à l'origine de cette baisse sont l'Est (-25,65 %) et le Sud (-12, 94 %). En revanche, à l'Ouest et au Nord on enregistre une croissance respective de 17,12 % et 12, 42 %.

Comme indicateurs d'utilisation du matériel roulant, nous avons retenu le nombre de voyageurs par train et le nombre de tonnes par train. Les statistiques descriptives montrent que le nombre de tonnes par train évolue à la hausse pour tout l'échantillon. + 8,25 % à l'Est, + 18,55 % au Nord, + 42, 25 % au Sud et enfin + 54, 69 % à l'Ouest. Les pays de l'Europe de l'Ouest se démarquent une fois de plus par leur meilleure performance. L'analyse du nombre de voyageurs par train affiche un résultat assez différent. - % 35 % pour les pays de l'Est, - 4,77 % pour les pays du Nord, + 3, 48 % pour les pays du Sud et enfin + 6,70 % pour l'Ouest. Ce résultat montre que les trains de voyageurs sont de plus en plus vides à l'Est et au Nord, par contre ils se remplissent à un rythme assez faible dans les autres régions.

En termes de nombre de voyages par habitant, l'Ouest se démarque encore avec sa meilleure performance. En 1997, chaque habitant de l'Europe de l'Ouest a effectué en moyenne 17 voyages en train, résultat qui est également observé pour les habitants du Nord. Par contre le nombre moyen de voyages est estimé à 12, pour les habitants de l'Europe de l'Est et 10,58 pour le Sud. En revanche en 2011, le nombre de voyages moyen par habitant est estimé à 25 pour l'Ouest, 23 pour le Nord, 11 pour le Sud et enfin 9 pour l'Est. Ces données révèlent que les réseaux ferrés des pays de l'Ouest sont plus attractifs car entre 1997 et 2011, le nombre moyen de voyages par habitant a augmenté de 46 % tandis qu'au Nord, il a augmenté de 37 %. Enfin le nombre moyen de voyages par habitant augmente de 1,65 % au Sud et recul de 28,83 % à l'Est.

Enfin pour ce qui est de la distance moyenne parcourue, elle est estimée en 1997 à 931 km pour les pays de l'Ouest, 811 pour les pays du Nord, 680 pour les pays de l'Est et à 507 pour les pays du Sud. Par contre en 2011, les distances moyennes parcoures sont les suivantes : 1 174 à l'Ouest, 1 056 au Nord, 511 au Sud et 480 à l'Est. Le Nord est donc la région « championne » avec une croissance de 30,21 %, elle est suivie par l'Ouest avec une croissance de 26,13 % et 0,82 % pour le Sud. L'Est arrive en quatrième position avec une baisse de 29,47 %. Ces données montrent que la mobilité ferroviaire est plus importante à l'Ouest et au Nord.

Cette analyse descriptive montre que plusieurs facteurs peuvent influencer les performances des chemins de fer. Dans le chapitre 4, nous utiliserons un modèle à variables dépendantes limitées pour identifier la corrélation qui existe entre ces variables et les

indicateurs de performance. La région de l'Ouest se démarque de l'échantillon avec ses meilleures performances.

3.4 Mesure et test de convergence

3.4.1 Les indicateurs de mesure de la convergence

Il y a convergence entre l'économie de plusieurs pays si les écarts entre les revenus par habitant de ceux-ci tendent à se réduire au cours de la période considérée (Lamarlière and Staszak, 2000, p. 437). On parle de convergence lorsque la différence entre les séries ou leur dispersion se réduit dans le temps. Appliqué à l'industrie ferroviaire, on peut dire qu'il y a convergence si les écarts entre les performances des chemins de fer tendent à se réduire au cours du temps. On peut identifier globalement deux façons de définir la convergence : en fonction de l'évolution moyenne de leur différence, dans ce cas on parlera de bêta convergence (β–convergence) ou en fonction l'évolution de leur dispersion, dans ce cas on parlera de sigma convergence (σ–convergence). Barro and Sala-i-Martin (1992, 1991, 1995) furent les premiers auteurs à formaliser la notion de convergence. Elle a été l'un des principaux sujets de la littérature sur la croissance pendant plusieurs années, puisqu'il s'agissait de déterminer si les économies des pays moins développés pouvaient rattraper le niveau de revenu par tête des économies plus riches.

La bêta converge étudie le comportement de retour à la moyenne d'un ensemble de variables. Selon le modèle de croissance néoclassique, le taux de croissance de la production par tête d'une région est positivement lié à la distance qui est indépendante des conditions initiales dans lesquelles se trouvait cette région. Le test de β– convergence traduit le fait que les pays pauvres croissent plus vite que les pays riches. En effet, selon la théorie économique, la β– convergence est une mesure courante parce qu'elle permet de quantifier et de mesurer le concept de vitesse de convergence.

Partant de l'idée que les pays pauvres rattraperont les pays riches s'ils réalisent un taux de croissance supérieur, la procédure du test consiste à régresser le taux de croissance de la série sur le niveau initial de la série (Fuss, 1999), ce qui nous conduit à l'équation suivante :

Équation 3-8 : **Taux de croissance (Fuss, 1999)**

$$\frac{\left[\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j0}\right)\right]}{t}=\alpha+\beta\ln\left(y_{j0}\right)+\varepsilon_{jt}$$

On conclut à la convergence si le coefficient du niveau initial β est négatif et significatif pour un seuil donné.

En présence des données de panels, Canova and Marcet (1995) proposent plutôt d'estimer la relation suivante pour évaluer la β– convergence.

Équation 3-9 : **Canova et Marcet (1995)**

$$\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j,t-1}\right)=c_i-\beta\ln\left(y_{i,t-1}\right)+\varepsilon_{jt}$$

Les coefficients c_i représentent les effets fixes et permettent d'introduire des états stationnaires différents. $\varepsilon_{jt,}$ est un terme d'erreur qui suit une loi normale de moyenne nulle et de variance constante.

On distingue la β–convergence absolue et la β–convergence conditionnelle. La β–convergence est dite absolue lorsqu'elle ne prend pas en compte les conditions initiales des variables, supposant implicitement une similarité dans leurs caractéristiques. Elle est testée habituellement sur des modèles en coupe transversale. La β–convergence est dite conditionnelle lorsqu'elle tient compte des conditions initiales. Elle repose sur l'homogénéisation des taux de croissance plutôt que sur les niveaux de richesse. Pour tester la β–convergence conditionnelle, il suffit d'introduire dans la régression des variables explicatives supplémentaires. On conclut qu'il y a β–convergence lorsque l'on observe une corrélation négative et statistiquement significative.

L'analyse de la σ–convergence consiste à étudier l'évolution de la dispersion de l'échantillon en coupe transversale. Pour évaluer cette dispersion, certains auteurs utilisent l'écart-type de l'échantillon au début et à la fin de la période ou le coefficient de variation. Rappelons que le coefficient de variation est le rapport de l'écart-type à la moyenne, il est généralement exprimé en pourcentage. Sans unité, le coefficient de variation permet la comparaison de distributions de valeurs dont les échelles de mesure ne sont pas comparables. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Le coefficient de variation est donc une mesure plus appropriée car elle ne dépend pas de l'unité de mesure. L'écart type sous-évaluera la σ–convergence dans le cas des séries croissantes. On conclut qu'il y a σ–convergence lorsque la dispersion diminue dans le temps.

Hénin and Pen (1995) ainsi que Hart (1995) proposent une autre façon d'analyser la σ– convergence. Plutôt que de se fonder sur l'évolution du coefficient de dispersion, un test de réduction de la dispersion peut être effectué. La procédure de ce test est fondée sur une estimation de l'équation suivante :

$$\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j0}\right)=\alpha-\beta\ln\left(y_{j0}\right)+\varepsilon_{jt}$$

Il y σ–convergence si $(1-\beta)^{2}/R^{2}<1$, avec R^2, le coefficient de corrélation multiple entre ln (y_{jt}) et ln (y_{j0}) de l'équation précédente. Cette relation peut être testée à partir d'un test de Student.

En effet la σ–convergence véhicule deux mécanismes. D'une part, elle provient du processus de rattrapage (β–convergence) et d'autre part, elle apparaît comme étant une résultante des effets de chocs auxquels les économies des États sont soumises. En conséquence, le test de la σ–convergence peut parfois générer des conclusions contradictoires avec celles obtenues à partir de l'hypothèse de la β–convergence. « La considération du test de la sigma convergence dans l'étude du phénomène de convergence présente l'avantage de comparer chaque entité non à ses propres performances mais aussi aux meilleures pratiques du groupe étudié », (Boussemart and Saidane, 2005).

Pour les différentes critiques adressées à ces tests, on notera les auteurs suivants : Bernard and Durlauf (1995, 1991), Quah (1994, 1993, 1993, 1996).

3.4.2 Le test de la β– convergence

Nous allons nous en tenir dans notre évaluation au test de la β– convergence absolue. En se référant à la définition de la convergence de Barro et Sala-i-Martin, il y a convergence si au fil du temps les scores d'efficacité tendent vers la frontière. Pour tester la β–convergence absolue des performances des chemins de fer, nous nous proposons d'utiliser une approche en coupe longitudinale (données de panels), ce qui permet d'estimer les équations suivantes :

Équation 3-10 : Taux de croissance en coupe longitudinale

$$\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j,t-1}\right)=c_i-\beta\ln\left(y_{i,t-1}\right)+\varepsilon_{jt}$$

Avec :

$y_{j,\,t}$ = le score d'efficacité observé à la période t

$y_{j,\,t-1}$ = le score d'efficacité observé à la période t-1

i = indices des pays, i = 1…….17

ε_{jt} = terme aléatoire, qui suit loi normale de moyenne nulle et d'écart type constant

c_i = les effets fixes

Le processus de convergence peut être complété par deux indicateurs dont les mesures sont inspirées des estimations de β. Il s'agit de la vitesse de convergence ϕ qui définit le rythme annuel auquel les pays peuvent converger vers le benchmark. $\phi = -[\ln(1 + \hat{\beta}N)]/N$, avec $\widehat{\beta}$ le coefficient estimé de β. La seconde mesure est la demi-vie τ qui permet d'évaluer le temps nécessaire pour que les pays réduisent de moitié l'écart qui les sépare de leur état stationnaire. $\tau = -\frac{\ln(2)}{\ln(1+\beta)} \approx \frac{\ln(2)}{\ln(1-\phi)}$.

Rappelons que la β-convergence absolue repose sur l'homogénéisation des taux de croissance plutôt que sur les niveaux de richesse. Pour résoudre le problème d'hétérogénéité entre les pays, Galor (1996) a proposé de diviser l'échantillon étudié en sous-groupes constitués des pays dont les états stationnaires sont supposés semblables. On procède ensuite à un test de β-convergence absolue sur les sous-groupes ainsi constitués, appelés clubs de convergence. En se fondant sur la recommandation de Galor, nous avons divisé notre échantillon en deux sous-échantillons. Le premier étant constitué des pays les plus performants en début de période, c'est-à-dire ceux qui ont un score d'efficacité plus élevé en 1997, le second étant constitué du reste des pays.

D'un point de vue de l'efficacité productive, le premier échantillon (dont EP > 93 %) est constitué par : la Roumanie, la République Tchèque, la Slovénie, la Belgique, la Bulgarie, la Suède et l'Autriche. Tenant compte de l'efficacité commerciale (dont EC > 90 %), l'échantillon numéro 1 est constitué par : le Portugal, la Pologne, la Finlande, la Hongrie, la Bulgarie et la Roumanie. Enfin d'un point de vue de l'efficacité technique (dont ET > 92 %), l'échantillon numéro 1 est constitué par : le Danemark, la Belgique, la Roumanie, la Suède, la Bulgarie et l'Autriche.

- **Résultat du test de la β-convergence pour l'échantillon total**

Tableau 3-20 : **Résultats de la β-convergence des différentes formes d'efficacité pour l'échantillon total**

Efficacités	Coef	Robust standard error	t(β)	R-squared	Vitesse de convergence	Demi-vie (τ)	Prob>F	sigma_u	sigma_e	rho
Production	-0,00637***	0,000705	-9,03	0.270	6,51%	108	0,13	0,020	0,058	0,109
Commerciale	-0,00564***	0,000753	-7,49	0.203	6,58%	123	0,00	0,040	0,052	0,373
Technique	-0,0105***	0,000514	-20,37	0.654	6,10%	66	0,00	0,038	0,065	0,250
	*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1									

Pour l'échantillon total, les résultats de l'estimation de l'équation 3-10 sont présentés dans le tableau 3-20. Nous observons un mouvement de convergence absolue pour tous les pays de l'échantillon pour les trois formes d'efficacité puisque les coefficients β sont négatifs

et significativement différents de zéro. Les résultats du test de Student dont l'hypothèse testée est, H0 : β=0 contre H1 : β>0, nous amènent à rejeter l'hypothèse nulle (H0). Par conséquent on peut conclure qu'il existe un mouvement de convergence absolue vers la frontière formée par les plus compétitifs. Cependant, les vitesses de convergence sont différentes.

Du point de vue de l'efficacité productive, l'estimation du taux de croissance donne une vitesse de convergence annuelle assez faible soit, 6,51% par an et une demi-vie de 108 ans ! Il faudrait 108 ans pour que les chemins de fer à faible niveau d'efficacité productive réduisent de moitié leur niveau d'inefficacité par rapport au benchmark. De la même manière, l'estimation du taux de croissance de l'efficacité commerciale donne une vitesse de rattrapage de 6,58% par an et une demi-vie de 123 ans : 123 ans pour éliminer les inefficacités commerciales de moitié afin de tendre vers l'état stationnaire. Enfin l'estimation du taux de croissance de l'efficacité technique donne une vitesse de convergence annuelle faible, soit 6,10% par an et une demi-vie de 66 ans : 66 ans pour réduire de moitié les inefficacités techniques afin de tendre vers la frontière

3.4.2.1 Résultat du test de la β-convergence pour l'échantillon 1

Pour le sous-échantillon 1, les résultats du test de la β-convergence sont rapportés dans le tableau 3-21. Toutes choses étant égales par ailleurs, les résultats contenus dans le tableau 3-21 montrent que les coefficients de β estimés sont négatifs et statistiquement différents de zéro pour chaque type d'efficacité. Ce qui signifie qu'il existe un phénomène de convergence de tous les pays vers les frontières d'efficacité.

L'estimation du taux de croissance de l'efficacité productive donne une vitesse de convergence de 6,01% et une demi-vie de 61 ans. L'estimation du taux de croissance de l'efficacité commerciale donne une vitesse de rattrapage de 6,21% par an et une demi-vie de 74 ans. Enfin l'estimation du taux de croissance de l'efficacité technique donne une vitesse de rattrapage de 5,99% par an et une demi-vie de 60 ans.

Tableau 3-21 **Résultats de la β-convergence des différentes formes d'efficacité pour l'échantillon 1**

Efficacité	Coef	Robust standard error	t(β)	R-squared	Vitesse de convergence	Demi-vie (τ)	Prob>F	sigma_u	sigma_e	rho
Productive	-0,0113***	0,000407	-27,81	0.925	6,01%	61	0,022	0,014	0,016	0,431
Commerciale	-0,00929***	0,000498	-18,66	0.755	6,21%	74	0,003	0,011	0,018	0,248
Technique	-0,0115***	0,000715	-16,15	0.839	5,99%	60	0,000	0,026	0,026	0,504
	*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1									

3.4.2.2 Résultat du test de la β-convergence pour l'échantillon 2

Pour le sous-échantillon 2, les coefficients estimés de β sont statistiquement différents de zéro au seuil de 1%, ce qui nous conduit à rejeter l'hypothèse nulle et par conséquent, on conclut qu'il existe un mouvement de convergence absolue vers la frontière d'efficacité technique (voir tableau 3-22).

Du point de vue de l'efficacité productive, l'estimation de l'équation 3-10 donne une vitesse de convergence de 6,45% par an et une demi-vie de 100 ans. L'estimation du taux de croissance de l'efficacité commerciale montre qu'avec une vitesse de rattrapage de 6,40%, il faudrait 93 ans aux chemins de fer de cet échantillon pour éliminer la moitié des inefficacités commerciales. Enfin, l'estimation du taux de croissance de l'efficacité technique donne une vitesse de convergence de 5,95% et une demi-vie de 58 ans.

Toutes choses étant égales par ailleurs, la β-convergence des performances des chemins de fer du sous-échantillon 2 s'explique en grande partie par la β-convergence des efficacités techniques.

Tableau 3-22 **Résultats de la β-convergence des différentes formes d'efficacités pour l'échantillon 2**

Efficacité	Coef	Robust standard error	t(β)	R-squared	Vitesse de convergence	Demi-vie (τ)	Prob>F	sigma_u	sigma_e	rho
Productive	-0,00693***	(0.000796)	-8,71	0.352	6,45%	100	0,007	0,027	0,054	0,201
Commerciale	-0,00744***	(0.00129)	-5,76	0.259	6,40%	93	0,042	0,039	0,060	0,301
Technique	-0,0119***	(0.000659)	-18,09	0.680	5,95%	58	0,000	0,042	0,069	0,270
	*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1									

3.4.3 Test de la σ–convergence

Comme on l'a souligné dans la section précédente, il existe plusieurs façons de tester l'existence de la σ–convergence. Parmi ces diverses méthodes, nous avons opté pour une méthode fondée sur l'analyse du coefficient de variation et plus précisément sur l'analyse du coefficient de variation des scores d'efficacité.

Pour l'ensemble de l'échantillon, la figure 3-15 présente l'évolution des coefficients de variation des trois indicateurs d'efficacité entre 1997 et 2011. L'analyse descriptive montre que le coefficient de variation moyen est estimé à 6,64% pour l'efficacité de production, 9,25% pour l'efficacité commerciale et enfin 11,79% pour l'efficacité technique. Pour les deux dernières, il existe une grande disparité autour de la moyenne.

L'évolution des courbes affiche une tendance à la baisse entre 1997 et 2006 puis une tendance à la hausse entre 2006 et 2011. En outre, la réduction de la dispersion n'est pas uniforme entre 1997 et 2006, ce qui laisse penser à une évolution chaotique de la dispersion marquée par des périodes de σ–convergence et des périodes de σ-divergence. Ce résultat montre que les chocs extérieurs ont affecté significativement la réduction des disparités entre 1997 et 2006. Néanmoins, entre 1997 et 2006, les écarts de performance ont tendance à se réduire. Par contre entre 2006 et 2011, ces écarts se creusent.

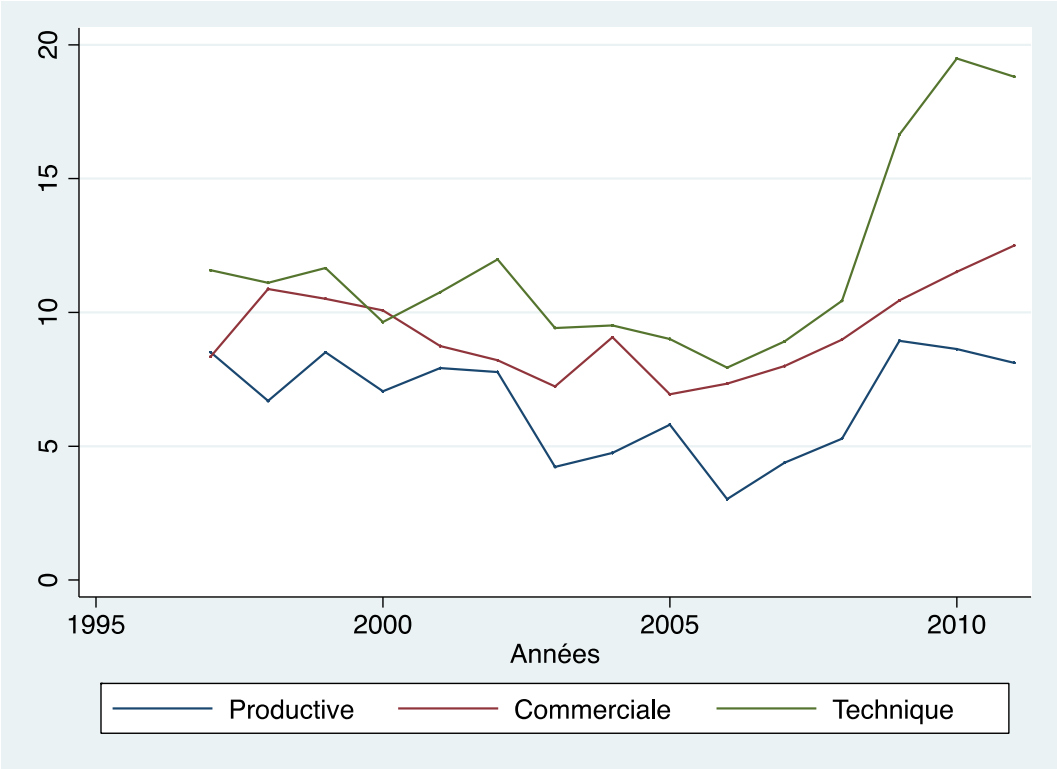


Figure 3-15 **: Évolution des disparités entre 1997 et 1991 (échantillon total)**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

La figure 3-16 présente l'évolution des coefficients de variation de l'efficacité productive des deux groupes de notre échantillon tandis que la figure 3-17 présente, pour les deux sous-échantillons, l'évolution du coefficient de variation de l'efficacité technique. D'après ces deux figures, le coefficient de variation du sous-échantillon 2 affiche une tendance à la baisse entre 1997 et 2006 puis une tendance à la hausse entre 2006 et 2011. Ainsi, pour les pays de l'échantillon numéro 2, on assiste à un phénomène de σ–convergence entre 1997 et 2006 puis à une σ–divergence entre 2006 et 2011. Par contre pour le sous-échantillon 1, le coefficient de variation est globalement stable sur toute la période. On peut également observer que dans chaque figure, l'écart entre les deux courbes (courbes

d'évolution du coefficient de variation des sous-échantillons 1 et 2), se réduit entre 1997 et 2006 puis il se creuse entre 2006 et 2011. Quatre résultats peuvent émerger de ces figures :

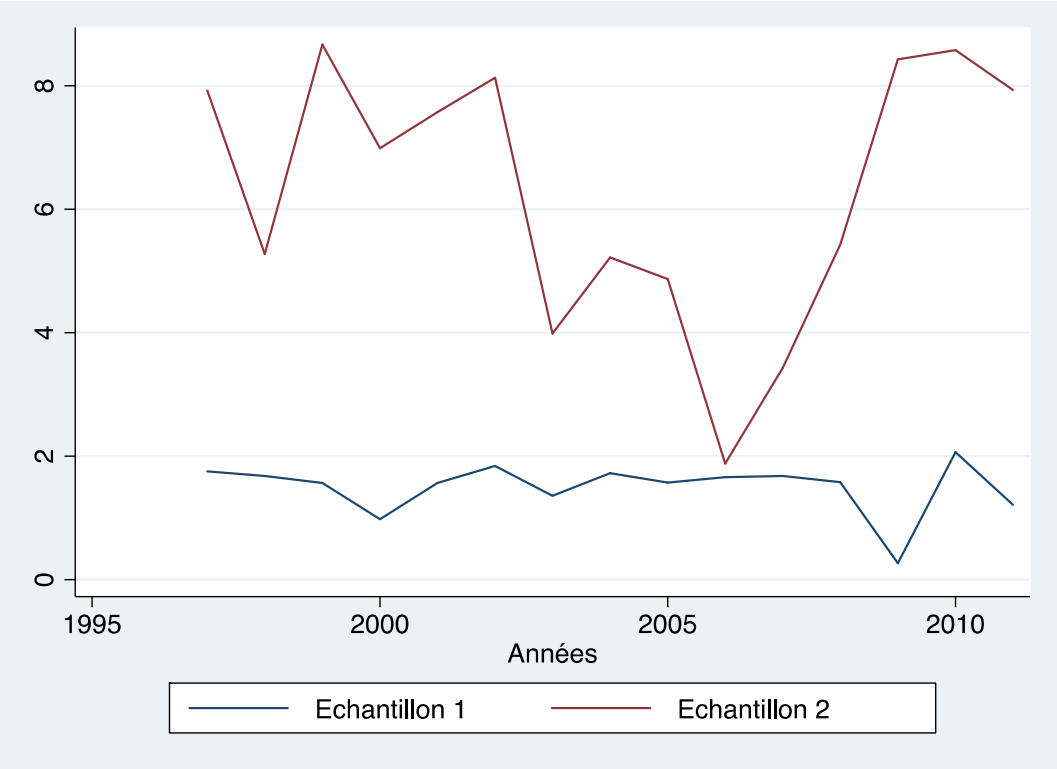


Figure 3-16 **: Évolution des disparités entre 1997 et 1991 (EP)**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

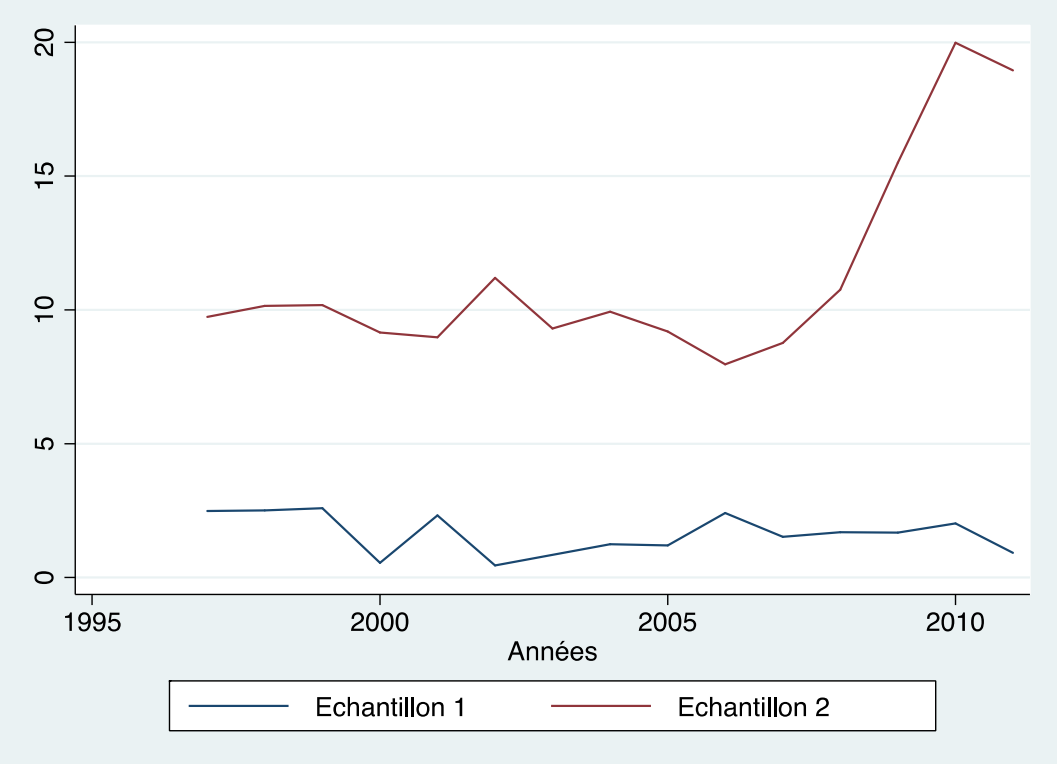


Figure 3-17 **: Évolution des disparités entre 1997 et 1991 (ET)**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

- Au sein des pays les plus performants en début de période, la dispersion est assez uniforme, ce qui montre que les écarts de performance sont assez stables et faibles, autour de 2%.
- Au sein du sous-échantillon 2, les écarts de performance se réduisent avec le temps entre 1997 et 2006 puis ils se creusent entre 2006 et 2011. Ce qui signifie qu'en moyenne, le niveau de performance de cette seconde catégorie de pays s'est fortement amélioré entre 1997 et 2006, puis a connu un recul entre 2006 et 2011.
- La valeur moyenne de l'efficacité productive et la valeur moyenne de l'efficacité technique du sous-échantillon 1 sont globalement stables sur toute la période. Par contre pour le sous-échantillon 2, on assiste à une évolution à la hausse des valeurs moyennes de l'efficacité productive et de l'efficacité technique entre 1997 et 2006, puis une évolution à la baisse de ces indicateurs entre 2006 et 2011 (voir figure 3-18 et figure 3-19).

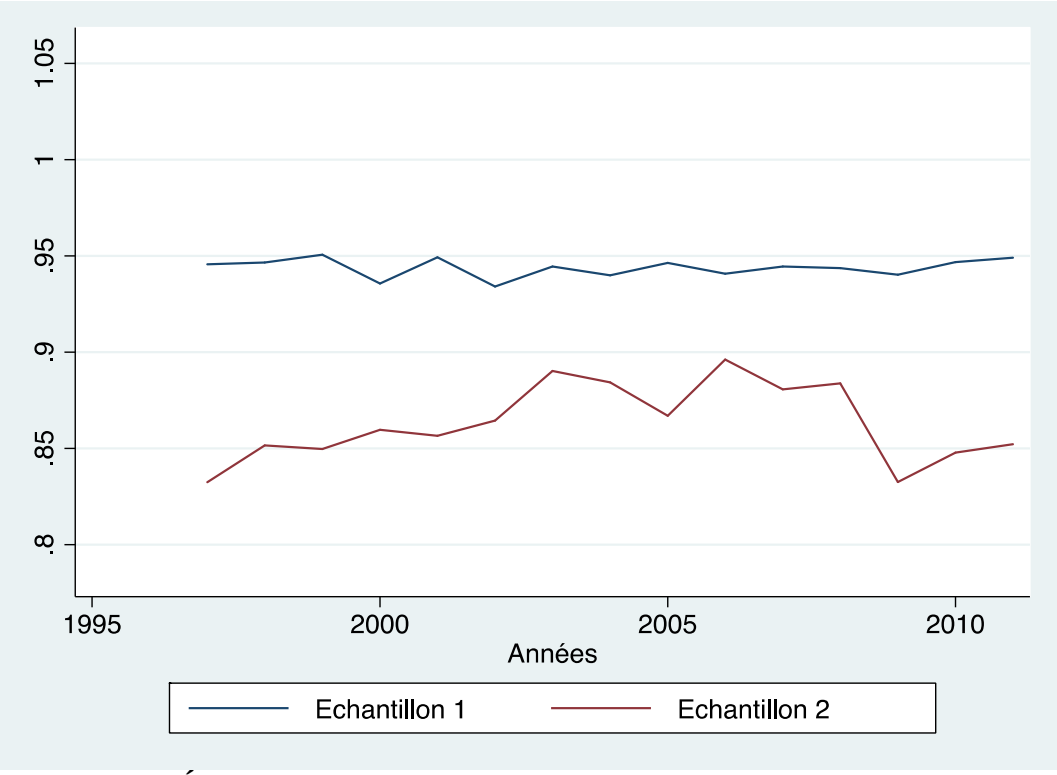


Figure 3-18 **: Évolution comparée de l'efficacité productive entre 1997 et 2011**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

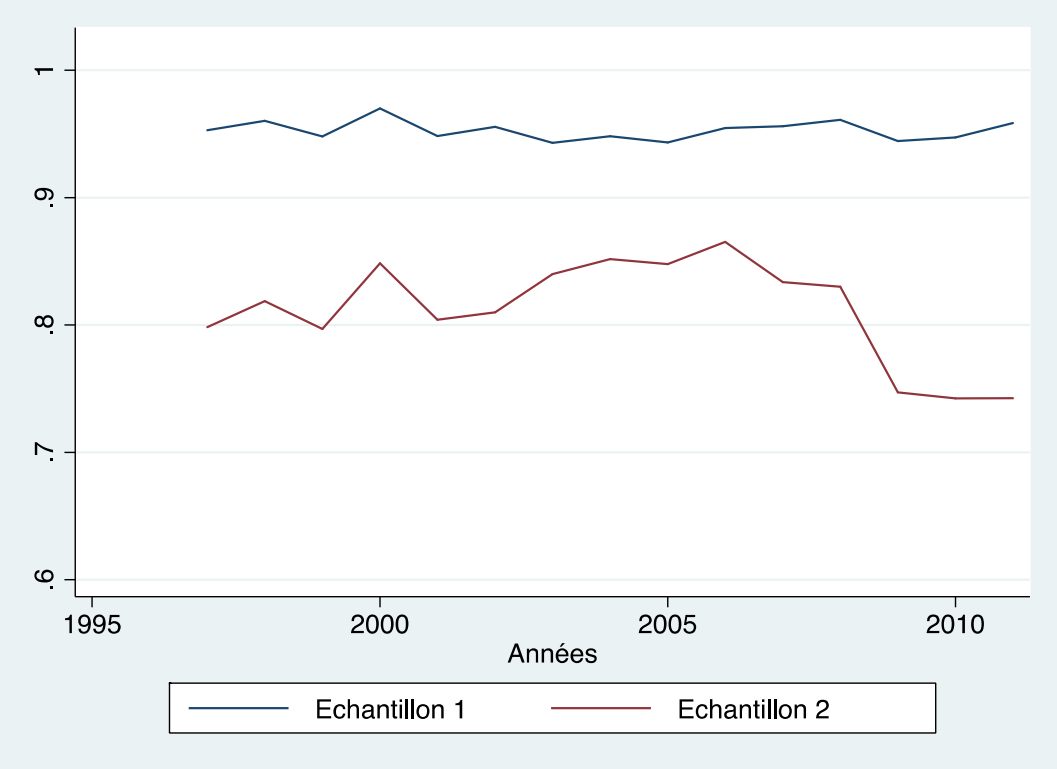


Figure 3-19 : **Évolution comparée de l'efficacité technique entre 1997-2011**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

- L'évolution comparée des courbes des deux échantillons montre qu'entre 1997 et 2006, les écarts de performance entre ces deux catégories de pays ont tendance à se réduire, par contre entre 2006 et 2011, ils se creusent. On peut donc comprendre d'un point de vue de l'efficacité productive et technique, que les pays les moins performants ont fourni des efforts pour améliorer leur performance ou pour rattraper les pays les plus performants en début de période, mais ces efforts sont stoppés dès 2006.

L'évolution du coefficient de variation de l'efficacité commerciale (voir figure 3-20) nous permet de constater que pour le sous-échantillon 1, la série est marquée par une discontinuité structurelle entre (1997-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2005, 2005-2008 et 2008-2011). Il est donc difficile de déterminer avec exactitude quand le phénomène de σ–convergence s'est produit de façon continue. Par contre pour le sous-échantillon 2, la série est également marquée par une discontinuité structurelle entre (1997-1998, 1998-2003, 2003-2005, 2005-2008 et 2008-2011). Ce résultat montre que la σ–convergence s'est produite de façon continue entre 1998 et 2003 puis entre 2004 et 2008, pour le reste des périodes les pays ont connu un phénomène de σ-divergence.

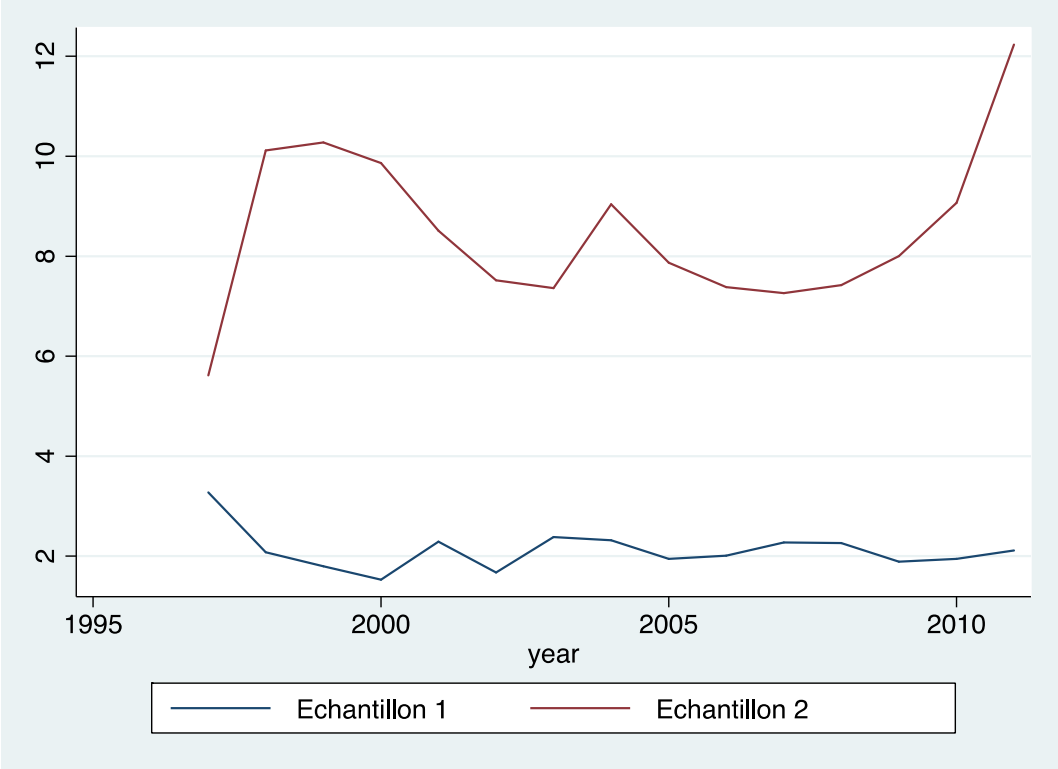


Figure 3-20 **: Évolution des disparités entre 1997 et 1991 (EC)**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

D'après figure 3-20, nous pouvons constater que :

- Au sein des pays les moins performants en début de période, les écarts de performance sont stables et assez importants entre 1997 et 2006 puisque durant cette période, le coefficient de variation de l'efficacité commerciale évolue légèrement à la baisse. Par contre entre 2006 et 2011, le coefficient de variation de cette catégorie évolue à la hausse, ce qui montre que les écarts de performance se creusent durant cette période.
- Pour le sous-échantillon 1, les écarts de performance sont assez stables. Un phénomène discontinue de σ– convergence peut même être observé entre 1997 et 2001.
- L'évolution comparée montre que l'écart entre ces deux courbes, se réduit faiblement entre 1997 et 2008, puis se creuse entre 2008 et 2011. On peut donc déplorer l'absence d'efforts des pays les moins performants en début de période. Comme le montre la figure 3-21, l'efficacité commerciale du sous-échantillon 1 est globalement stable sur toute la période tandis que l'efficacité commerciale du sous échantillon 2 est globalement décroissante sur toute la période.

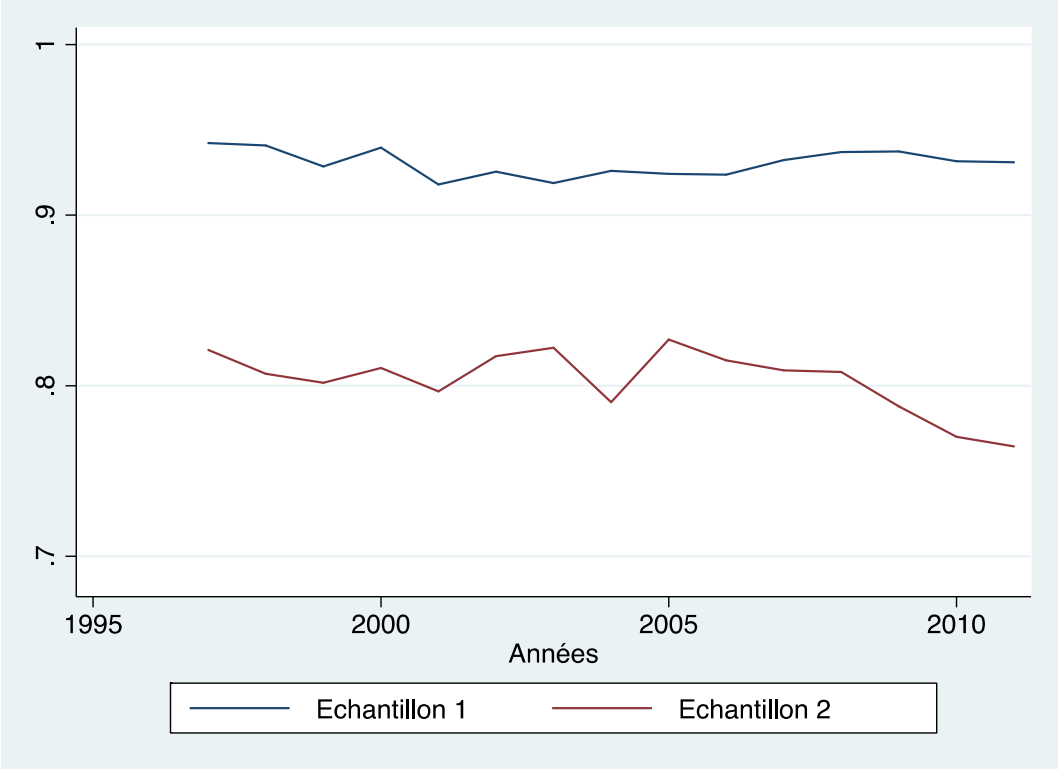


Figure 3-21 **: Évolution comparée de l'efficacité commerciale**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

Cette analyse montre que, les phénomènes de σ–convergence constatés au cours de certaines périodes n'empêchent pas pour autant le phénomène de β–convergence des scores moins efficaces des pays vers leur état caractérisé par le benchmark des plus efficaces. Pour le sous-échantillon 1, il est difficile de déterminer la principale source de la β–convergence des performances puisque tous les indicateurs d'efficacité ont une vitesse de convergence assez faible (environ 6%) et une demi-vie assez élevée. Le même constat peut être fait pour les pays du sous-échantillon 2 puisque pour cette catégorie de pays, la vitesse de convergence est aussi faible (6%) et la demi-vie assez élevée. Les résultats montrent également qu'en moyenne, les pays les plus performants en début de période demeurent les meilleurs durant toute la période.

Implications pour les politiques économiques

Comme indiqué plus haut, nous avons utilisé quatre indicateurs pour évaluer la performance des compagnies ferroviaires. Ces indicateurs sont : l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité technique et enfin la variation de la productivité totale des facteurs. L'efficacité technique et l'efficacité productive ont été évaluées à l'aide d'une frontière de production tandis que l'efficacité commerciale a été évaluée à l'aide d'une frontière de consommation. Dans ce contexte, l'efficacité de production et l'efficacité

technique mesurent la proportion des inputs qu'une compagnie peut réduire tout en gardant inchangé le niveau de production tandis que l'efficacité commerciale mesure la proportion dans laquelle la compagnie peut accroître son niveau de consommation. Grâce à ces différentes valeurs, nous avons pu établir les matrices représentées dans les figures 3-22 et 3-23

D'après la figure 3-22 (matrice dont les variables sont l'efficacité productive et l'efficacité commerciale), les pays tels que l'Autriche (AT), la République Tchèque (CZ), la Suède (SE), la Belgique (BE), la Slovénie (SI), l'Allemagne (DE) et le Danemark (DK) doivent se concentrer sur les moyens d'accroître le nombre de voyageurs ou la quantité transportée de marchandises. En revanche, les pays tels que la Roumanie (RO), la Slovaquie (SK), la Pologne (PL), la Bulgarie (BG), le Portugal (PT), la France (FR), la Finlande (FI), la Hongrie (HU) et l'Italie (IT) doivent se concentrer sur les stratégies de réduction des inputs excédentaires. De par sa position dans cette matrice, l'Espagne (ES) doit se concentrer à la fois sur les stratégies de réduction des inputs excédentaires mais aussi sur les moyens de rendre attractifs les services ferroviaires proposés.

L'analyse de la matrice dont les variables sont l'efficacité commerciale et l'efficacité technique (voir figure 3-23), nous permet de constater que les pays tels que la République Tchèque (CZ), l'Espagne (ES) et la Suède doivent se concentrer sur les stratégies de réduction des inputs excédentaires mais aussi sur les moyens de rendre attractifs les services ferroviaires qu'ils proposent. L'Autriche (AT), le Danemark (DK) et la Slovénie (SI) doivent plus se concentrer sur les moyens de rendre attractifs les services ferroviaires qu'ils proposent. Enfin pour être performants, les pays tels que la Roumanie (RO), la Bulgarie (BG), l'Allemagne (DE), la Hongrie (HU) et la Slovaquie (SK) doivent plus se concentrer sur les stratégies de réduction des inputs excédentaires.

Comme autre indicateur de mesure des performances des compagnies ferroviaires, nous avons utilisé la variation de la productivité totale des facteurs et ses principaux composants. Ces indicateurs ont été calculés après l'estimation de la frontière d'efficacité productive et la frontière d'efficacité technique. Ainsi nous avons noté TFP1, la variation de la productivité totale des facteurs calculée après estimation de la frontière d'efficacité productive et TFP3 la variation de la productivité totale des facteurs calculée après estimation de la frontière d'efficacité technique.

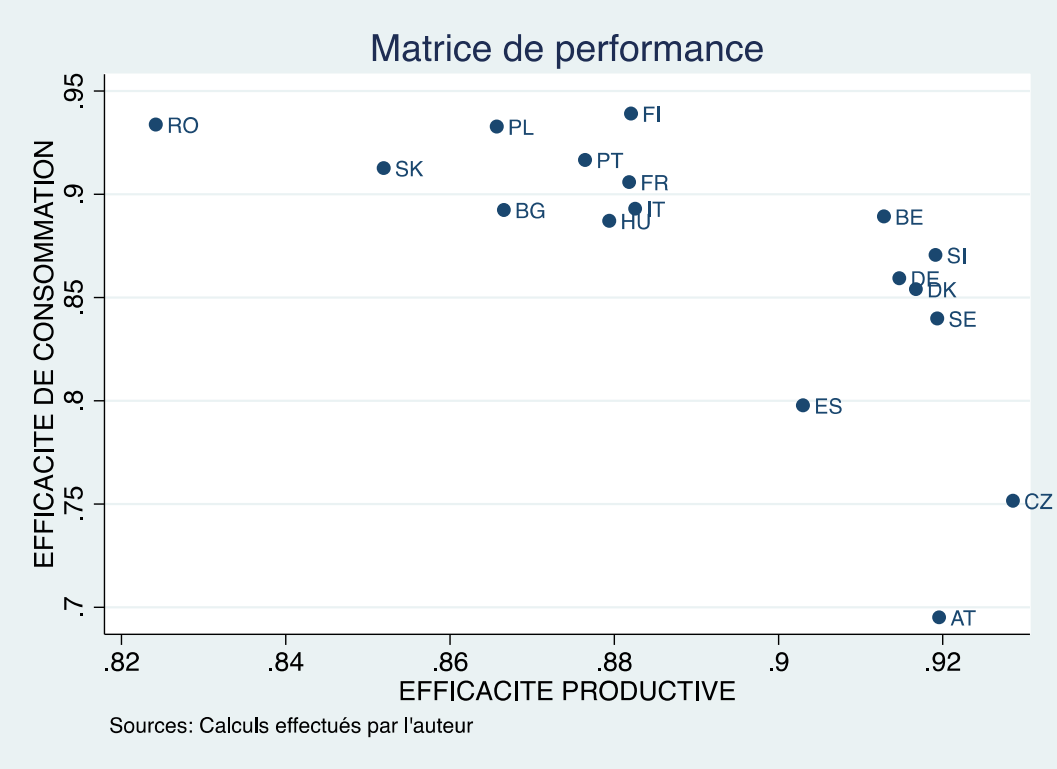


Figure 3-22 : **Matrice des performances, efficacité commerciale et efficacité productive.**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

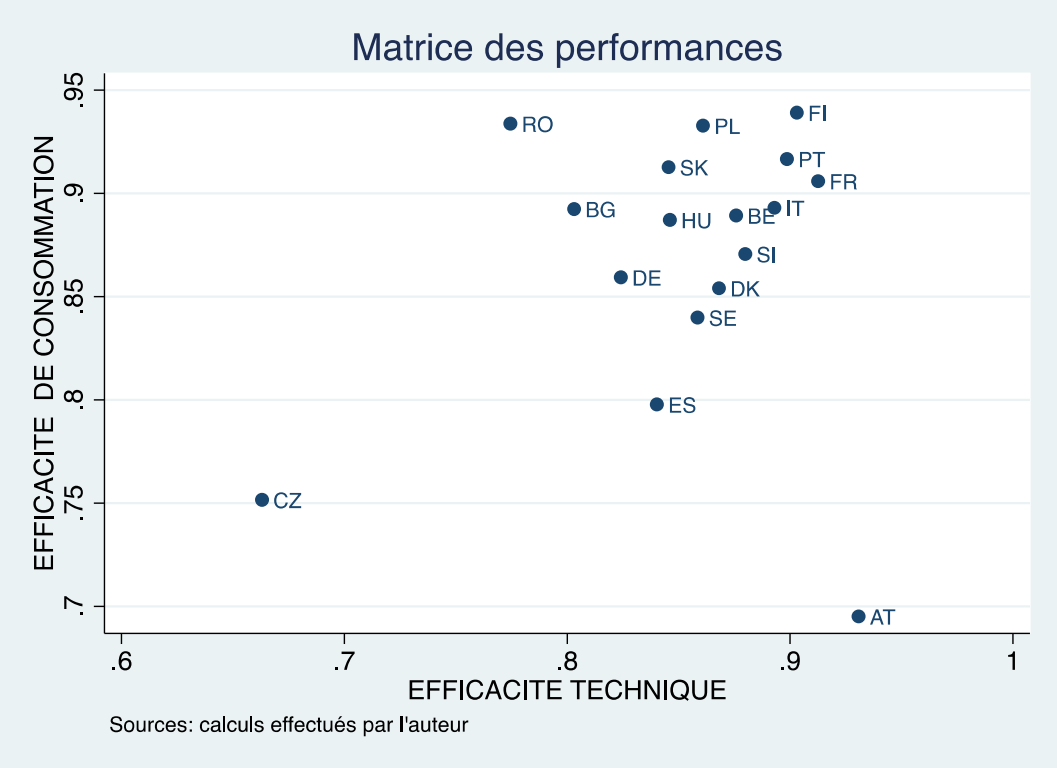


Figure 3-23 : **Matrice des performances, efficacité commerciale et efficacité technique**.
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

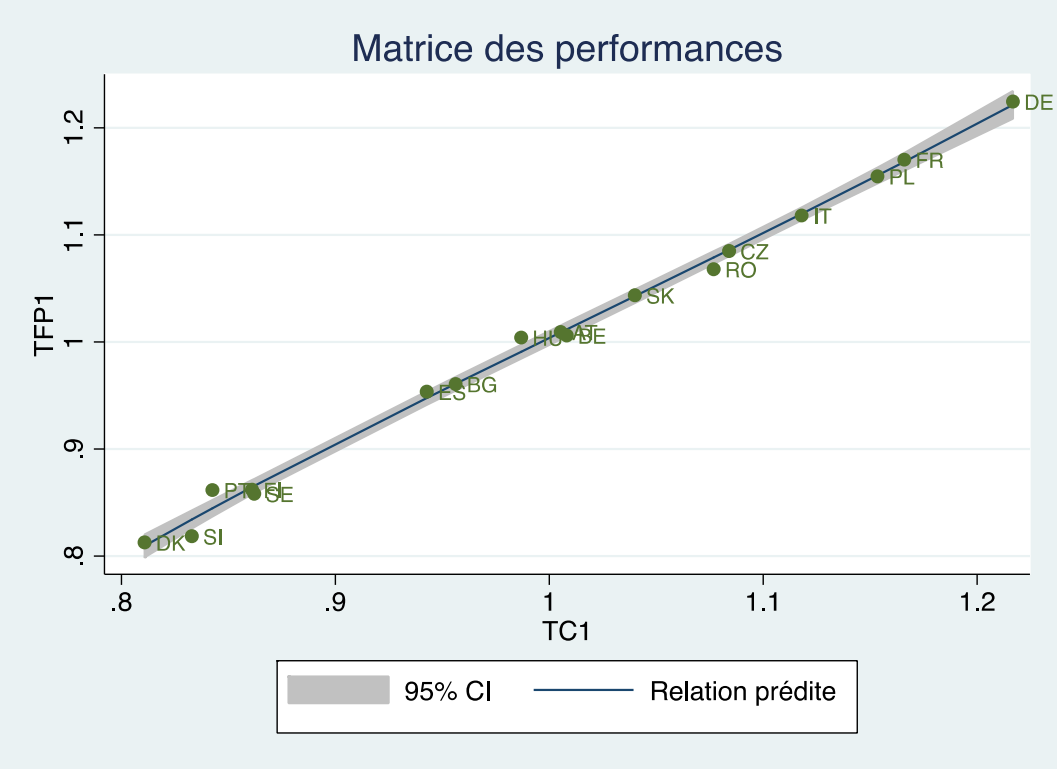


Figure 3-24 : **Matrice des performances, TFP1 et TC1**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

La matrice des performances dont les éléments sont la variation technologique (TC1) et la variation de la productivité totale des facteurs (TFP1), est représentée dans la figure 3-24. Cette figure montre que la variation de la productivité totale des facteurs est une fonction affine et croissante de la variation technologique. Ainsi pour améliorer leur performance, les pays tels que le Danemark (DK), la Slovénie (SI), le Portugal (PT), la Finlande (FI), la Suède (SE), la Bulgarie (BG), l'Espagne (ES) doivent mettre l'accent sur l'innovation technologique. L'analyse des performances dont les variables sont TFP3 et TC3 (voir annexe 3 -8) nous permet d'arriver à la même conclusion.

Comme le montre la figure 3-25 et l'annexe 3-9, il est difficile de prévoir une relation stable entre la variation de l'efficacité technique et la variation de la productivité totale des facteurs. Néanmoins on peut constater que, pour être plus performants, les pays tels que la Suède (SE), la Slovénie (SI), la Bulgarie (BG) et la Finlande (FI) doivent améliorer leur efficacité technique ou productive. En d'autres mots, ces pays doivent rechercher les voies et moyens pour réduire les excédents d'inputs.

L'analyse de la matrice dont les variables sont, la variation de la productivité totale des facteurs et la variation de l'efficacité d'échelle, ne nous permet pas de prédire une relation stable entre ces deux variables (voir figure 3-26 et l'annexe 3-11).

Néanmoins cette matrice montre qu'à l'exception de l'Allemagne (DE), de l'Autriche (AT) et de la Belgique (BE), le reste des pays de l'échantillon opère à des échelles inappropriées.

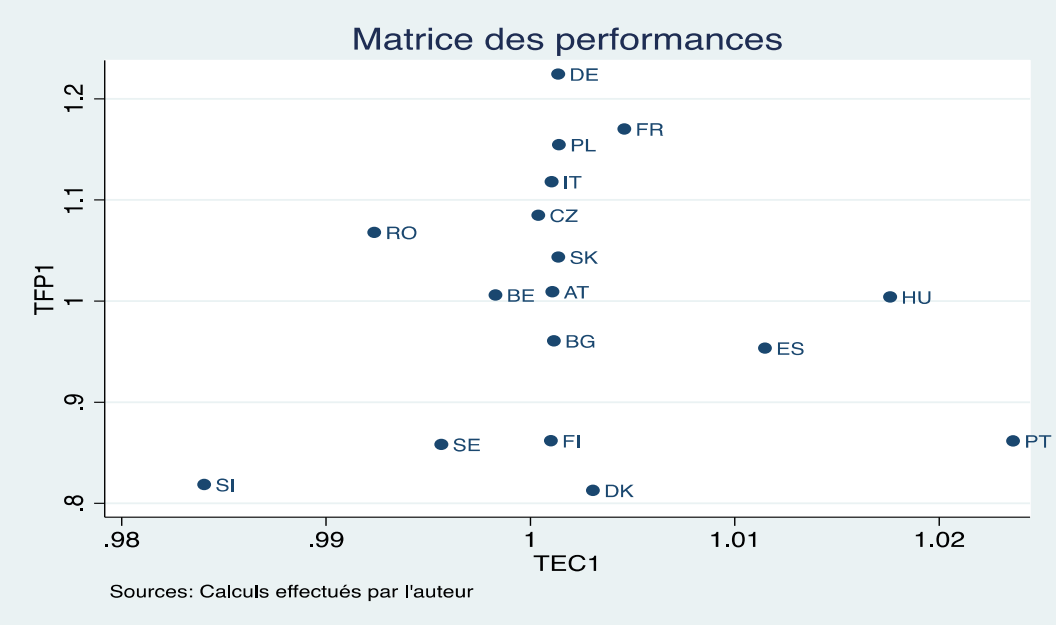


Figure 3-25 : **Matrices des performances, TFP1 et TEC1**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

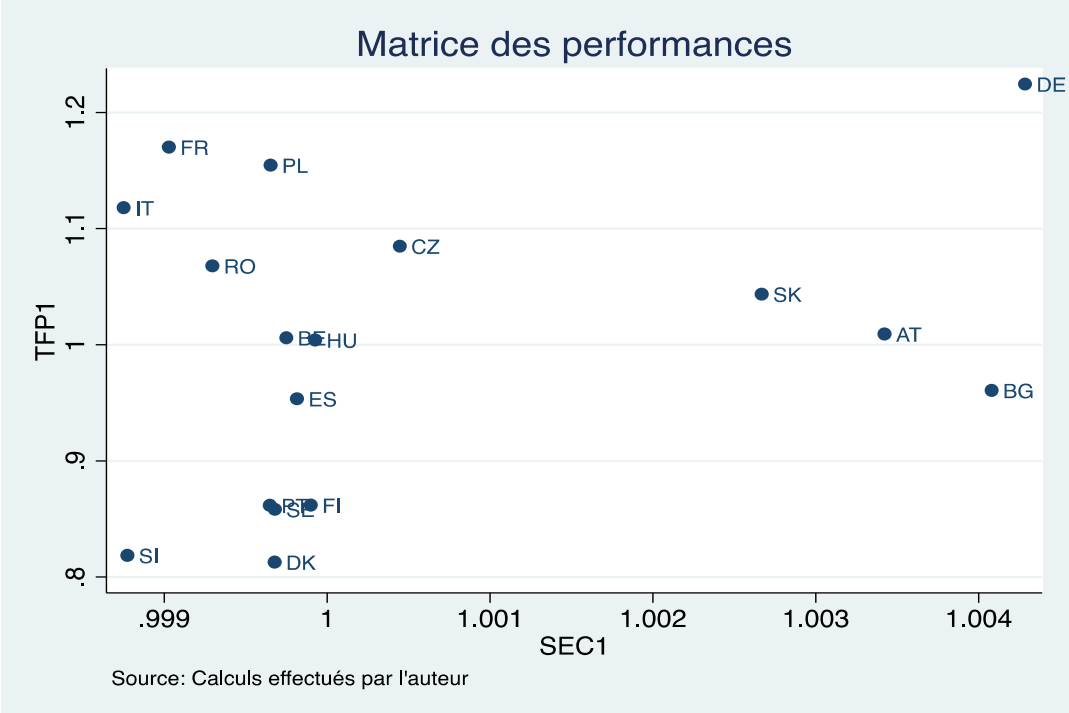


Figure 3-26 : **Matrice des performances, TFP1 et SEC1**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

Conclusion du troisième chapitre

Ce chapitre avait pour objectif d'évaluer, de comparer et d'expliquer les performances des chemins de fer des pays de l'union européenne. Quatre indicateurs de performance ont retenu notre attention : l'efficacité productive, qui mesure l'aptitude des chemins de fer à transformer les inputs de production (le nombre de locomotives, le nombre de wagons, le nombre de voitures, la longueur des voies et la main-d'œuvre) en outputs de production (le nombre de trains-km de voyageurs et de marchandises). Comme deuxième indicateur de mesure de la performance nous avons utilisé l'efficacité commerciale. Elle mesure la capacité des chemins de fer à transformer le nombre de trains-km de voyageurs et de marchandises respectivement en voyageurs-km et tonnes-km. L'efficacité technique qui mesure l'aptitude des chemins de fer à transformer les inputs de production (le nombre de locomotives, le nombre de wagons, le nombre de voitures, la longueur des voies et la main-d'œuvre) en voyageurs-km et en tonnes-km. Enfin comme quatrième indicateur de mesure de la performance, nous avons retenu la variation de la productivité totale des facteurs et ses principaux déterminants qui sont, la variation du progrès technique, la variation de l'efficacité productive ou de l'efficacité technique et enfin la variation de l'efficacité d'échelle.

Pour ce faire nous avons simultanément estimé trois frontières paramétriques et stochastiques, à savoir, une frontière de production orientée inputs, une frontière de consommation et une frontière d'efficacité technique orientée inputs. Quelle que soit la frontière, l'efficacité est donnée par l'inverse de la distance par rapport à cette frontière. Grâce aux paramètres estimés de la frontière de production et ceux de la frontière d'efficacité technique nous avons calculé la variation de la productivité totale des facteurs et identifié ses principaux déterminants.

Cette méthodologie a été appliquée sur un panel de 17 pays de l'Union Européenne observés entre 1997 et 2011. Pour simplifier la présentation des résultats et faciliter l'analyse comparative nous avons divisé notre échantillon en sous-échantillons. Le premier sous-échantillon est constitué des pays de l'Europe de l'Ouest (Autriche, Allemagne, Belgique et France), les pays de l'Europe de l'Est (Bulgarie, Hongrie, Pologne, République Tchèque, Slovaquie et Roumanie) les pays de l'Europe du Sud (Espagne, Italie, Portugal et Slovénie) enfin les pays de l'Europe du Nord (Danemark, Finlande et Suède). Ce panel présente un double avantage puisqu'il est assez hétérogène aussi bien au niveau des pratiques que dans l'environnement dans lequel opèrent les compagnies ferroviaires.

Pour l'ensemble de l'échantillon, les scores d'efficacité moyen annuels pour l'efficacité productive, l'efficacité commerciale et l'efficacité technique sont respectivement de 89,08%, 86,90% et enfin 85,16%. Ces données montrent d'une part qu'en moyenne dans l'industrie ferroviaire les inputs de production sont utilisés dans des proportions incorrectes et d'autre part qu'il existe une inadéquation entre l'offre et la demande. La moyenne annuelle des gains de productivité est de 0,6 % (1,4%), ce qui est un résultat médiocre.

Nous avons également évalué et comparé les scores d'efficacité par région. Les résultats montrent que les pays de l'Europe de l'Ouest sont plus performants puisque cette région a réalisé les scores moyens annuels d'efficacité productive de 90,72%, d'efficacité commerciale de 83,74%, d'efficacité technique de 88,58%. Du point de vue de la variation de la productivité totale des facteurs, cette région est également considérée comme la plus performante puisqu'elle a enregistré une moyenne de 10,25% (11,75%) de gains de productivité. Dans le même ordre d'idée, les performances annuelles moyennes réalisées par les pays de l'Europe de l'Est sont : 86,94% d'efficacité productive, 88,51% d'efficacité commerciale, 79,89% d'efficacité et enfin 5,27 % (4,87%) de gains de productivité. Pour les pays de l'Europe du Sud on note : 89,53% d'efficacité productive, 86,95% d'efficacité commerciale, 87,79% d'efficacité technique et enfin – 6,20% (- 4,07%) de gains de productivité. Avec 90,60% d'efficacité productive, 87,77% d'efficacité commerciale, 87,65% d'efficacité technique et – 15,57% (- 11,99%) de gains de productivité, la région du Nord est considérée comme la moins performante.

Le test de comparaison des populations de Kruskal-Wallis s'est révélé statistiquement significatif au seuil de 5% pour l'ensemble des régions de l'échantillon. Ce qui veut dire, que les performances sont différentes d'une région à une autre.

Un autre résultat important est que la variation du progrès technique est le principal composant ou déterminant des gains de productivité. En effet les résultats montrent que la variation de la productivité totale est une fonction affine et croissante de la variation de la productivité totale des facteurs. Ainsi les pays les plus performants sont ceux dont la variation du progrès technique est la plus élevée. Ce résultat a également été confirmé par le coefficient de corrélation de Spearman qui s'est révélé positif et significatif au seuil de 5%.

Du point de vue de la productivité totale des facteurs, l'Allemagne est le pays le plus performant, puisqu'elle réalise + 22,45% (+23,37%) de gains de productivité. Elle est suivie par la France, +17,02 % (+18,14%), la Pologne (+15,47%/+ 16,98%), l'Italie (+11,81%/+ 14,70%) et enfin la République Tchèque avec +8,49% / + 7,43%. L'analyse des

gains d'innovation technologique montre que l'Allemagne est le pays dont le progrès technique contribue le plus à la réalisation des gains de productivité. En effet la variation du progrès technique est estimée à + 21,68% (+23,71%) en Allemagne, +16,60% (+17,55%) en France, +15,34% (+ 4,13) en Pologne, +11,8% (+ 13,40 %) en Italie et enfin +8,41% (+ 9,89 %) en République Tchèque.

Cette analyse montre également que pour un pays donné, les performances des chemins de fer sont fortement corrélées à la conjoncture économique de ce pays. En général, l'introduction des techniques novatrices de production et de commercialisation se révèle nécessaire et importante pour toute entreprise ferroviaire dont l'objectif est d'accroître ses performances afin de rester pérenne sur un marché concurrentiel.

Le test de la β–convergence absolue s'est révélé statistiquement significatif pour tout l'échantillon et pour les deux groupes, avec une vitesse de rattrapage assez faible et une demi-vie assez grande. Ce qui veut dire que les scores des différentes efficacités convergent avec une vitesse assez lente vers leur état d'équilibre formé par le benchmark. Par contre les mouvements de σ–convergence et de σ–divergence sont également constatés.

Chapitre 4 -
Concurrence et libéralisation des activités ferroviaires : quelles conséquences pour les performances des compagnies ferroviaires ?

Introduction

Le transport ferroviaire européen est engagé depuis plus de vingt ans dans une transformation profonde qui vise d'une part à la création d'un espace ferroviaire européen unique et d'autre part à améliorer son fonctionnement et accroître sa part modale. La volonté de développer les chemins de fer, qui présentent un faible impact sur l'environnement par comparaison avec les autres modes de transport comme la route ou l'aérien, se heurte à des obstacles tels que le coût très élevé des systèmes ferroviaires pour la collectivité et pour les finances publiques. Comme le souligne Crozet (2013), le système ferroviaire français n'est pas en bonne santé, sa productivité, sa compétitivité mais aussi la qualité de ses coûts sont interpellés.

Les profondes mutations du transport ferroviaire ont débuté avec la directive n° 91/440 du 29 juillet 1991. Il s'en est suivi toute une série de textes regroupés dans ce que la Commission européenne a appelé *Paquets ferroviaires.*

Adopté le 26 mars 2001, le paquet ferroviaire prévoit l'ouverture à la concurrence du fret international tandis que le second paquet (adopté en avril 2004) prévoit une ouverture complète à la concurrence du fret. Proposé en 2004 puis adopté en 2007, le troisième paquet ferroviaire prévoit une ouverture à la concurrence du transport international de voyageurs. Afin de parachever la création de l'espace ferroviaire intégré, la commission a proposé en janvier 2013, le quatrième paquet dont l'un des objectifs est celui de l'ouverture à la concurrence des transports nationaux de voyageurs. Ce quatrième Paquet vient d'être validé par le Parlement européen.

Depuis l'adoption de ces différentes réformes, la question de l'impact de la libéralisation des activités ferroviaires sur les performances des compagnies ferroviaires a retenu l'attention de plusieurs chercheurs et professionnels. Avec diverses méthodes, ils ont essayé d'évaluer les potentiels effets d'une libéralisation des activités ferroviaires sur les performances des compagnies.

D'un point de vue théorique, la démarche consiste à comparer les avantages et les inconvénients de la libéralisation. Parmi les auteurs qui ont utilisé cette approche on peut citer, Thompson, (1997), Nash, (1997) et Ksoll, (2004). D'un point de vue empirique, la méthodologie repose généralement sur une démarche en deux étapes dont la première est consacrée à l'estimation des indicateurs de performance tandis que la seconde est consacrée à l'analyse de la corrélation entre la libéralisation et l'indice de performance. Parmi les auteurs ayant utilisé cette approche on peut citer : Cantos et al. (2000), Driessen et al. (2006), Growitsch et Wetzel (2007) , Cantos et al. (2010), Pedro et al. (2012) et Kleinová (2016).

Ce chapitre utilise un modèle à variables dépendantes limitées pour tester la potentielle corrélation entre les performances des chemins de fer et le degré de libéralisation ferroviaire. Comme indicateurs de performance nous avons retenu, l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité technique et les gains de productivité. Le degré de libéralisation est évalué par deux indicateurs. Le premier, est un indicateur amont qui évalue l'intensité des barrières légales ou pratiques à l'entrée sur le marché tandis que le second est un indicateur aval qui mesure les résultats de la dynamique concurrentielle à partir des données sur les parts de marché et l'évolution du trafic ferroviaire.

Pour ce faire, le chapitre sera structuré comme suit : Dans une première section nous allons présenter l'état des lieux du processus de libéralisation ferroviaire de l'Union européenne. L'enjeu est de voir comment les textes européens ont été transposés en droit national et où en sont les pays en matière de libéralisation. La revue de la littérature sur le sujet sera présentée dans la deuxième section tandis que la troisième section sera consacrée à la présentation du modèle et des données que nous allons utiliser pour évaluer l'impact de la libéralisation sur les performances des chemins de fer. Enfin dans une quatrième section, nous procéderons à une analyse et à une interprétation des résultats.

4.1. Le processus de libéralisation des activités ferroviaires : état des lieux

4.1.1 Qu'entend-t-on exactement par libéralisation du transport ferroviaire ?

En sciences économiques, la libéralisation est la transformation d'un secteur économique dont la finalité est de permettre l'exercice d'une activité économique à différents agents économiques, privés ou publics. Autrement dit, la libéralisation d'un secteur

économique consiste à en rendre libre l'accès en mettant fin au monopole d'une entreprise (publique ou privée).

Appliquée à l'industrie ferroviaire, la libéralisation se traduit par l'arrivée de nouveaux opérateurs ferroviaires en remplacement ou en concurrence avec les compagnies historiques. L'arrivée de nouveaux opérateurs est censée stimuler la concurrence pour développer l'innovation, améliorer la qualité de service et faire baisser les prix.

Dans le secteur du transport ferroviaire, la libéralisation peut se faire sous deux formes : la concurrence sur le marché et la concurrence pour le marché.

- On parle de concurrence sur le marché lorsque le réseau est ouvert à la concurrence et plusieurs compagnies (la compagnie nationale et les compagnies privées) peuvent disposer de sillons, de droit de trafic sur le même réseau. Sous cette forme de concurrence, le consommateur a le choix entre plusieurs opérateurs, la concurrence est donc visible pour ce dernier.
- Il y a concurrence pour le marché lorsqu'il existe une compétition ouverte pour obtenir un marché mais une fois le marché emporté, la compagnie qui l'a obtenu est la seule présente sur ce marché. En pratique, l'autorité compétente fait un appel d'offre sur un périmètre donné de services et sélectionne l'opérateur. Contrairement à la concurrence sur le marché, l'autorité compétente à le choix mais pas le consommateur. La concurrence n'est pas véritablement visible pour ce dernier.

Il est important de noter que ces deux formes de concurrence ne sont pas exclusives l'une de l'autre et peuvent coexister, selon les segments de marché, mais pas sur les mêmes dessertes. Ainsi la libéralisation pourra se faire pour le transport régional par une concurrence pour le marché, alors que la concurrence sur le marché existera pour le trafic fret et voyageurs grandes lignes, sachant que physiquement, les différents trains empruntent parfois les mêmes lignes, Hubert HANENEL (2009, p. 12).

A en croire la Commission Européenne, l'ouverture à la concurrence serait une condition nécessaire pour revitaliser le marché ferroviaire européen. Si en théorie, la libéralisation entraine la concurrence, dans la pratique et spécialement dans l'industrie ferroviaire, cela n'est pas toujours vérifié.

4.1.2 Comment quantifier le degré de libéralisation

Pour évaluer les effets de la libéralisation, il est nécessaire de quantifier le degré d'ouverture à la concurrence, Crozet (2016). C'est d'ailleurs ce que font les études empiriques sur le sujet.

Dans les études empiriques portant sur l'analyse des effets de la libéralisation sur les performances des chemins de fer, la libéralisation est généralement représentée par une variable binaire qui prend la valeur 1, l'année pour laquelle le pays a opté pour la libéralisation (date d'ouverture à la concurrence pour le marché ou date d'ouverture à la concurrence sur le marché), et 0 sinon. Si cette approche paraît simple et basique, elle est limitée par le fait qu'elle ne rend pas totalement compte du degré de libéralisation ferroviaire.

Depuis 2002, le cabinet de conseil IBM Global Business Services en collaboration avec le professeur Christian Kirchner publie pour chaque pays deux indicateurs (LIB et COM) qui permettent de rendre compte du degré de libéralisation et d'ouverture à la concurrence.

- L'indice LIB, qui mesure l'intensité des obstacles à l'entrée est constitué de deux sous indices LEX et ACCESS. Le sous-indice LEX évalue les exigences légales pour entrer sur un marché et prend en compte l'existence ou non d'une autorité de régulation indépendante. Ses principaux déterminants sont donc l'organisation de l'opérateur historique (degré de séparation entre l'infrastructure et l'exploitant des services de transport, degré de séparation entre activités de services et degré d'indépendance par rapport à l'Etat), le niveau de régulation de l'accès au marché et les pouvoirs de l'autorité de régulation. Le sous-indice ACCESS évalue la réalité pratique des barrières à l'entrée du point de vue d'un nouvel opérateur. Ses déterminants sont le niveau des obstacles opérationnels (conditions d'accès au réseau, structure de la tarification), la part de marché accessible aux nouveaux entrants et l'existence des barrières administratives (homologation du matériel roulant, licence d'exploitation et certificat de sécurité).
- La variable COM peut être considérée comme un indice « aval » qui mesure la dynamique concurrentielle dans les Etats membres. Ses principaux déterminants sont : les parts de marché des nouveaux entrants, le nombre d'opérateurs extérieurs à l'opérateur historique et l'évolution de la part modale du fret. L'indice COM peut également être appréhendé comme un indicateur de mesure du degré de concurrence intra modal.

4.1.3 Evolution du processus de libéralisation en Europe.

Le projet de libéralisation des activités ferroviaires de l'Union européenne a commencé avec la directive n° 91/440. Celle-ci recommande aux Etats membres :

– Une séparation juridique et comptable de l'infrastructure et l'exploitant,

– Une indépendance de gestion des entreprises ferroviaires,

– Un assainissement financier

– Le libre accès de nouvelles entreprises exploitantes à l'infrastructure.

Cette directive est donc pionnière et fondatrice d'un vaste chantier dont la finalité est la création d'un marché unique du ferroviaire en Europe. Elle est complétée par l'adoption de trois paquets ferroviaires respectivement en février 2001 (Premier paquet ferroviaire), Janvier 2002 (Deuxième paquet ferroviaire) et Mars 2004 (Troisième paquet ferroviaire).

Qualifié de « ***Paquet infrastructure ferroviaire***», le premier paquet ferroviaire est composé de trois directives qui devaient être transposées en droit national avant le 15 mars 2003. Ce paquet met en place des mécanismes visant à favoriser une meilleure intégration du marché ferroviaire. La directive 2001/12/CE pose le principe du droit d'accès équitable des entreprises ferroviaires au réseau transeuropéen de fret ferroviaire, principe qui devrait être étendu à toutes les lignes à partir de 2008. La directive 2001/13/CE définit les conditions d'attribution des licences permettant l'exploitation des services de fret ferroviaire sur le transeuropéen. Enfin la directive 2001/14/CE organise la répartition des capacités ferroviaires, la tarification des sillons et la certification en matière de sécurité.

Proposé le 23 janvier et adopté le 16 mars 2002, le deuxième paquet ferroviaire (***Vers un espace ferroviaire intégré***) est composé de cinq directives dont la finalité est la création d'un espace ferroviaire intégré. Ce paquet a pour objectif :

– De développer une approche commune de sécurité ferroviaire

– De compléter les principes fondamentaux de l'interopérabilité

– La création d'une agence ferroviaire européenne

– L'ouverture à la concurrence de l'ensemble du transport international du fret

– L'adhésion à l'organisation pour les transports internationaux ferroviaires (OTIF).

Proposé dès 2004 et adopté en 2007, le troisième paquet ferroviaire avait pour objectif la libéralisation du transport ferroviaire de voyageurs. Prévue par la directive 2007/58/CE, cette libéralisation débute l'ouverture à la concurrence du transport international de voyageurs, au plus tard en 2010. Le service international est doublé d'une possibilité de cabotage (article 1 er, paragraphe 8). Cette directive est entourée d'autres textes visant la

certification des conducteurs (directive 2007/59/CE), les droits des voyageurs (règlement n°1371/2007). Le règlement 1370/2007 (dit « OSP », Obligation de service public) tend à modérer l'évolution dans le sens de la libéralisation. Il instaure un cadre légal en matière d'octroi de compensation et/ou de droits exclusifs pour les contrats de service public à conclure dans le domaine des transports.

4.1.4 Le processus de libéralisation des activités ferroviaires dans l'Union Européenne: où en sont les Etats membres.

4.1.4.1 La structure des entreprises ferroviaires

Il est important de rappeler que la libéralisation à deux composantes, l'une qui est l'ouverture à la concurrence et l'autre qui est la mise en place d'un système de régulation qui se substitue au dirigisme (terme qui apparaît après les années 1930 pour désigner un système dans lequel un gouvernement exerce le pouvoir d'orientation ou de décision sur l'économie ou la société afin de l'organiser selon certaines fins). L'ouverture à la concurrence lorsqu'il y avait un monopole associé à un réseau d'infrastructures se fait par la séparation entre la gestion du réseau et les opérations sur le réseau avec la mise en place des modalités d'accès au réseau [3]. Deux questions émergent de cette définition : Comment sont organisés les chemins de fer des pays européens ? L'ouverture à la concurrence des services ferroviaires est-elle effective dans ces pays ?

D'un point de vue organisationnel, la directive 91/440/CEE n'impose pas une complète séparation entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'exploitant. Ce qui est demandé est une séparation comptable entre ces deux entités dont le but est de circonscrire le monopole au gestionnaire de l'infrastructure qui devient l'unique entité en charge de l'allocation des sillons et de la fixation du montant de la redevance d'utilisation de l'infrastructure.

Cette obligation communautaire a été respectée par tous les Etats membres, mais sous différentes formes. On distingue trois formes générales de séparation.

- La séparation de type organisationnelle. Dans ce modèle d'organisation, la séparation est matérialisée par la création d'unités autonomes. Elle prend généralement la forme de filiales au sein d'un holding qui détient alors indirectement le gestionnaire de l'infrastructure. On parle alors de modèle

[3] http://www.lexinter.net/JF/liberalisation.htm

intégré. Après 1991, ce modèle a été choisi dans les pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Estonie, Hongrie, Irlande, Italie, Lituanie, Luxembourg, Pologne et Slovénie. Il est important de noter que depuis 2015, la France fait partie des pays qui ont opté pour un modèle intégré, puisque depuis cette date, le nouveau gestionnaire de l'infrastructure (SNCF-Réseau) est une filiale du groupe SNCF.

- La Séparation institutionnelle : Dans cette forme d'organisation, la séparation se matérialise juridiquement par la création de deux entités indépendantes, même s'il peut exister un éventuel contrôle commun de l'Etat. On parle alors d'une complète séparation entre les deux entités. Les pays qui ont opté pour cette forme d'organisation sont : la Bulgarie, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, les Pays-Bas, la Norvège, le Portugal, la Roumanie, le Royaume-Uni, la Suède, la Slovaquie.
- Le modèle hybride: Dans cette forme d'organisation, l'exploitant et le gestionnaire de l'infrastructure sont deux entités différentes, mais ce dernier fait généralement appel au service de l'opérateur historique pour l'accomplissement de certaines tâches dont il a la charge exclusive. Parmi les pays ayant opté pour cette forme d'organisation, citons la République Tchèque et la France (de 1997 à 2014).

4.1.4.2 Le degré d'ouverture du marché ferroviaire à la concurrence

En économie, la concurrence désigne la présence simultanée de plusieurs acteurs, agissant de façon rivale sur un même marché. Appliqué au secteur ferroviaire, la concurrence désignerait la présence de plusieurs opérateurs de transport ferroviaire sur un même marché. En Europe, cette ouverture est conduite dans le cadre des textes communautaires adoptés par la commission européenne et transposés en droit national par les Etats membres. Néanmoins il est important de signaler que la transposition en droit national des textes européens et la définition des modalités précises de l'ouverture à la concurrence, sont du ressort de chaque Etat membre.

Avant de présenter l'état actuel du degré d'ouverture du marché à la concurrence des pays l'Union Européenne, il est important de préciser que l'ouverture à la concurrence de la branche transport de voyageurs est différente de celle de la branche de fret.

Selon la législation européenne, la libéralisation des services internationaux de transport de marchandises a été prévue dans le premier Paquet ferroviaire (directive

2001/12/CE, 2001/13/CE et 2001/14/CE). La transposition en droit national de ces directives varie d'un Etat à un autre.

Comme le montre, la figure 4-1, la libéralisation du fret ferroviaire a été effective en Allemagne et au Royaume-Uni bien avant le premier Paquet ferroviaire, au milieu des années 1990. D'après cette figure, la Grèce et Croatie sont les pays où la libéralisation du transport de marchandises est inscrite dans la loi mais en réalité il n'y a pas encore de nouveaux entrants. L'Estonie fait la différence, puisque dans ce pays, le libre accès est actif depuis 1999 tandis qu'il n'est inscrit dans la loi que depuis 2003.

La figure 4-1 montre également qu'il s'écoule quelques années entre la transposition en droit national des directives européennes et la présence effective des nouvelles entreprises. En Autriche par exemple presque trois années se sont écoulées entre la date de la transposition en droit national (09/01/1998) et la date de présence effective de nouvelles entreprises (01/04/01). Cet écart est estimé à un peu plus de deux ans pour la France, moins d'un an pour l'Allemagne, la Pologne, la Suède, la Slovaquie et à près de deux ans pour le Royaume-Uni.

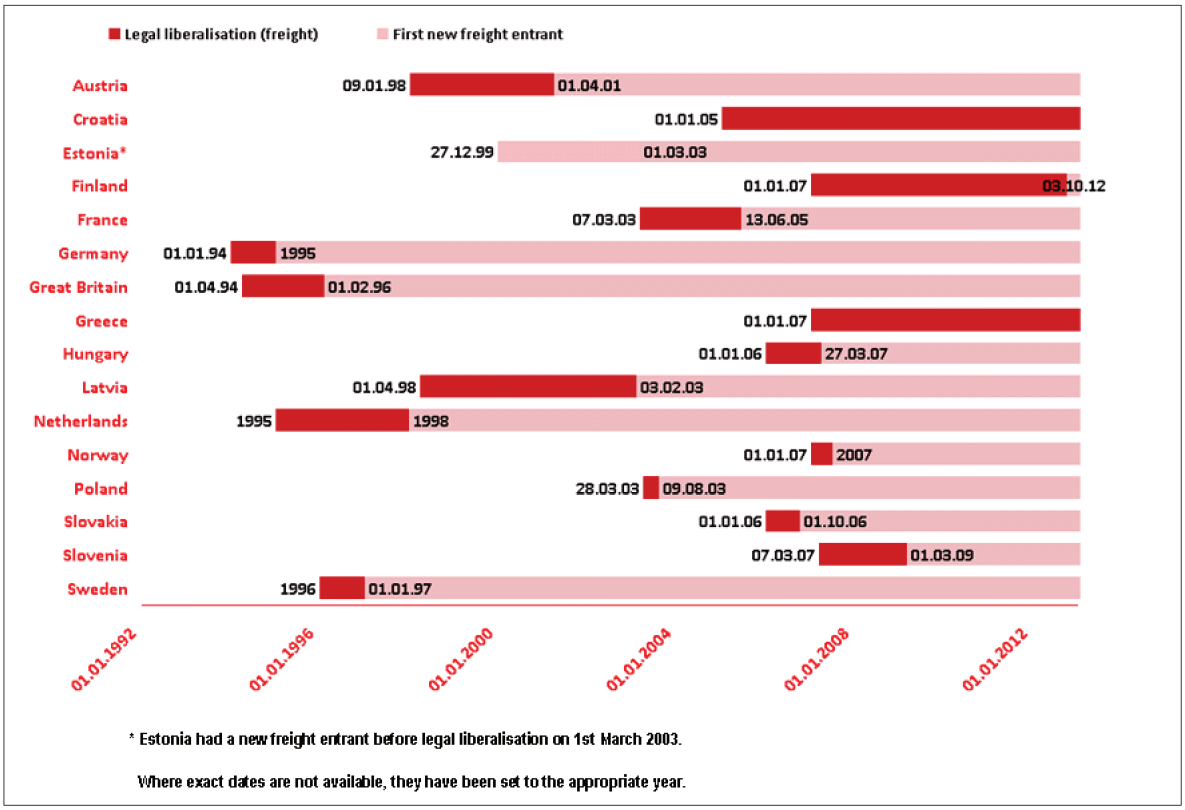


Figure 4-1: **Date de libéralisation du fret ferroviaire européen**
Sources Annual Market Monitoring report, IRG-rail (2013)

Pour l'activité voyageurs, on distingue le transport international et le transport national. Le transport international de voyageurs n'est ouvert à la concurrence que depuis janvier 2010. Pour le transport national de voyageurs , qui représente environ 94 % de tous les voyageurs-km (COM, 2014, p. 62), c'est le quatrième Paquet ferroviaire qui vient de fixer les dates butoirs à 2020 pour les grandes lignes et à 2023 pour les services de type OSP.

Comme le montre la figure 4-2, la libéralisation du transport de voyageurs (pour la majorité, il s'agit du transport international de voyageurs) est effective dans certains pays. On constate également qu'il existe un écart entre la date d'arrivée de nouveaux opérateurs et la date à laquelle le libre accès est inscrit dans la loi. En Allemagne et au Royaume-Uni, le libre accès est inscrit dans les textes de loi depuis 1994, même s'il faut attendre respectivement 1997 et 1996 pour qu'il soit actif. Pour les pays tels que la Slovénie, la Croatie, la Finlande et la Grèce, le libre accès est inscrit dans les textes de loi, même s'il n'est pas actif. En France et en Suède, le libre accès est effectif depuis 2011, soit un an après l'adoption des textes. Les autres pays n'ont pas attendu la directive européenne pour ouvrir le marché à la concurrence.

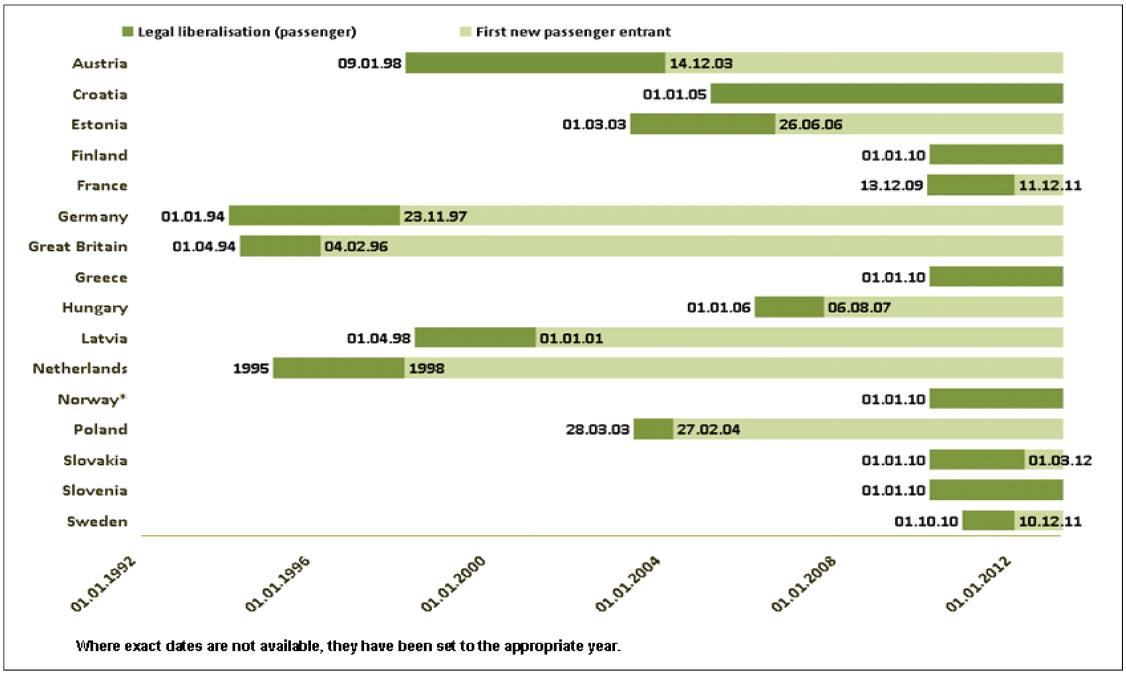


Figure 4-2 : **Libéralisation du transport ferroviaire de voyageurs en Europe**
Sources Annual Market Monitoring report, IRG-rail (2013)

Selon le rapport publié par la commission européenne en 2014 (COM, 2014, p. 62), en 2010, environ 40 % du marché des services nationaux de transport de voyageurs de l'Union européenne ont été accessibles à de nouveaux opérateurs. La Commission note également que seuls deux Etats membres (la Suède et le Royaume-Uni) ont complétement ouvert à la

concurrence leurs services commerciaux et leurs services relevant d'obligations de service public (voir figure 4-3).

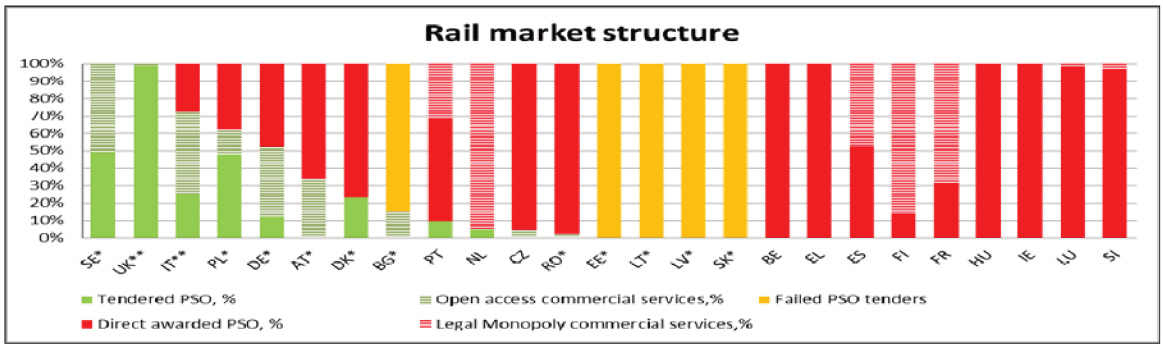


Figure 4-3 : **Structure du marché ferroviaire**
Source: Questionnaires RMMS, analyse d'impact du quatrième paquet ferroviaire, CER (2010), estimations des auteurs.

Dans la figure 4-3, les États marqués d'un astérisque sont ceux qui ont ouvert leurs marchés d'une manière qui permet aux services commerciaux en libre accès de coexister avec les contrats de service public attribués directement. En Estonie, en Lituanie, en Lettonie et en Slovaquie, les contrats de service public sont directement attribués à l'opérateur historique, il n'y a donc pas de véritable appel d'offre pour l'ensemble des services ferroviaires.

Le nombre de licences attribués et le nombre de compagnies actives sur un marché permettent également de mesurer le degré de libéralisation des activités ferroviaires. Avec 417 licences délivrées en 2012 (voir figure 4-4), l'Allemagne peut être classée première en matière de libéralisation des activités ferroviaires. Elle est suivie par la Pologne qui en 2012 a attribué 152 licences. La troisième place de ce classement est partagée par le Royaume-Uni et la République Tchèque qui totalisent 80 licences octroyées. Au bas de ce classement on retrouve la Finlande, la Grèce et le Luxembourg. En général, dans les États où l'opérateur historique détient encore le monopole des services intérieurs de voyageurs, le nombre de licences est faible.

La figure 4-5 montre l'évolution entre 2009 et 2011 du nombre de compagnies ferroviaires actives dans chaque État. L'Allemagne est classée tête de liste avec une moyenne annuelle de 315 compagnies actives entre 2009 et 2011. La Pologne arrive en deuxième position avec une moyenne de 67 compagnies actives en 2011, elle est suivie par le Royaume-Uni (35), l'Autriche (27), la Suède (26) et les Pays-Bas (25). Même si la France ne figure pas parmi les meilleures (15^{e} dans ce classement), le nombre de compagnies actives, augmente dans ce pays.

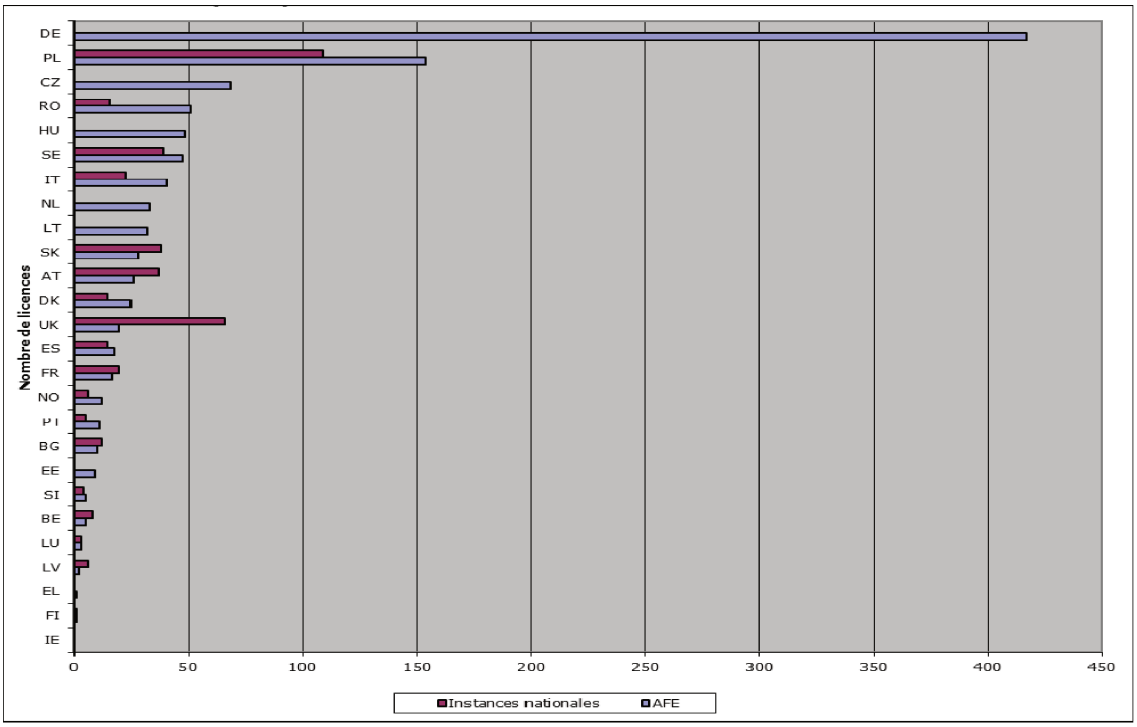


Figure 4-4 : **Octrois de licences notifiés par l'AFE et des instances nationales (2012)**
Sources: Agence ferroviaire européenne (base de données ERADIS), questionnaires RMMS complétés par les États membres - Annexe 16 du document de travail des services de la Commission SWD (2014) 186.

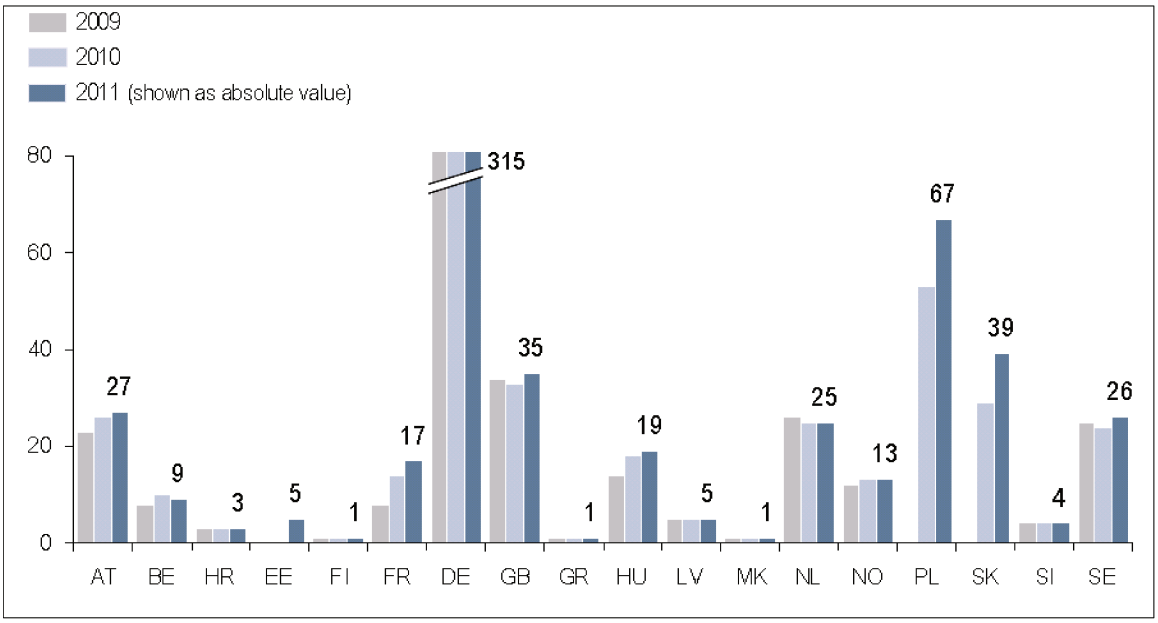


Figure 4-5 : **Le nombre de compagnies ferroviaires actives**
Sources Annual Market Monitoring report, IRG-rail (2013)

4.2 Les effets de la libéralisation des activités ferroviaires sur les performances des chemins de fer : revue de la littérature

Selon Crozet (2016), pour évaluer les effets de la libéralisation, il est nécessaire de quantifier le degré d'ouverture à la concurrence. C'est dans cette logique que plusieurs études empiriques dont les objectifs sont l'analyse des effets de la libéralisation sur les performances ont d'abord essayé de quantifier le degré de libéralisation. Comme on l'a signalé plus haut, la libéralisation peut être appréhendée sous plusieurs formes parmi lesquelles, le libre accès sur le marché, la structure des entreprises (existence ou non d'une structure verticalement intégrée) et le nombre de compagnies actives sur un marché.

4.2.1 L'impact de la séparation verticale et du libre accès sur la performance des compagnies ferroviaires

Faut-il séparer ou non les activités du gestionnaire de l'infrastructure de celles de l'opérateur de transport ? Cette question a fait l'objet des débats tant sur la scène nationale qu'à l'échelle internationale. La réponse à cette question permet de classer les auteurs en trois catégories. Dans la première catégorie, on retrouve tous les auteurs dont les études montrent que la séparation entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'exploitant est une organisation efficiente. Le deuxième groupe est constitué de tous ceux qui pensent que la séparation verticale entraîne une augmentation des coûts de production, ils sont donc opposés à l'idée qu'elle est une organisation efficiente. Enfin la troisième catégorie regroupe les auteurs qui sont neutres sur le sujet. Ils pensent que la décision de séparer le gestionnaire de l'infrastructure doit être prise en fonction des caractéristiques (économiques et environnementales) du pays dans lequel le problème se pose.

4.2.1.1 Quelques résultats en défaveur d'une structure verticalement séparée

Parmi les études quantitatives et qualitatives qui montrent que la séparation verticale n'est pas une organisation efficiente, on peut citer : Ksoll (2004) ; Mizutani et Nakamura (2004) ; Cantos Sánchez (2001) ; Bitzan (2003) ; Jensen et Stelling (2007) ; Drew et Nash (2011) ; Ivaldi et McCullough (2004) ; Berger (2012) ; Cantos et al. (2010) et Pittman (2001).

Pour Ksoll (2004), il existe plusieurs raisons de choisir une structure verticalement intégrée.

- Dans une structure verticalement intégrée, la coordination et la gestion des conflits sont simplifiées puisque les interfaces sont moins complexes entre les deux entités.
- En cas d'intégration entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'opérateur de transport, ce dernier pourrait inciter le gestionnaire à investir, ce qui permettra de résoudre les problèmes de capacité, d'améliorer la qualité de service, de sécurité et l'innovation.
- L'intégration verticale permet d'accroitre la productivité.
- Une structure verticalement intégrée permet de réduire les coûts et plus précisément les coûts de transaction.

Malgré l'existence de ces avantages, l'auteur souligne également que la structure verticalement intégrée présente aussi des inconvénients. Une structure verticalement intégrée ne favorise pas la régulation du monopole de l'infrastructure et elle ne constitue pas une incitation à la performance.

Dans une étude de l'impact de la séparation verticale sur les performances des compagnies ferroviaires et en particulier sur les performances de la branche fret, Pittman (2001) montre qu'il existe trois principales raisons pour lesquelles la séparation verticale est problématique pour les activités de transport et en particulier pour l'activité fret. Pour cet auteur, l'activité transport de marchandises a une part très significative des coûts dans l'ensemble du coût total d'exploitation de la compagnie. C'est donc ce coût élevé de l'infrastructure et en particulier celui du fret qui rend difficile la mise en application d'une structure verticalement séparée dans l'industrie ferroviaire comparé à d'autre secteurs tels que l'électricité, le gaz naturel et les télécommunications où la séparation a connu un véritable succès (Newbery, 1999). La deuxième raison avancée par cet auteur est que les économies d'échelle sont assez importantes dans l'industrie ferroviaire. Enfin la troisième raison pour laquelle l'auteur s'inscrit comme défenseur d'une structure verticalement intégrée est que cette structure permet de générer des économies, comparée à une structure verticalement séparée. Rappelons que ces résultats sont fondés sur des analyses purement théoriques et aussi sur les expériences de libéralisation dans d'autres industries de réseau telles que l'électricité, le gaz naturel et la télécommunication.

En utilisant une démarche empirique pour évaluer les effets de la séparation verticale sur les performances des compagnies ferroviaires spécialisées dans le transport des

marchandises, Ivaldi et McCullough (2004) montrent qu'aux USA, la séparation entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'opérateur de transport a entrainé une hausse de 20 % à 40 % du coût total de production par rapport à une structure verticalement intégrée. Cette étude montre également qu'une séparation couplée à une ouverture à la concurrence (c'est-à-dire à l'existence sur un marché de plusieurs entreprises) entraîne une augmentation de 70 % du coût total d'exploitation. Enfin comme autre résultat, cette étude montre que la séparation entraîne une réduction de l'efficacité de la coordination entre les différentes compagnies engagées sur le marché. Pour obtenir ces différents résultats, les auteurs ont utilisé une méthodologie qui repose sur l'estimation d'une fonction de coût. Ces auteurs comparent l'efficacité de coût de trois formes d'organisation : une intégration verticale, une séparation verticale et une séparation verticale couplée à une ouverture à la concurrence.

Dans une analyse comparative des performances des compagnies ferroviaires, Mizutani et Nakamura (2004) montrent que la séparation verticale n'est pas raisonnable, surtout si elle doit être appliquée au système ferroviaire japonais puisqu'elle pourrait entraîner une augmentation du coût d'exploitation. L'existence des économies d'envergure entre le gestionnaire d'infrastructure et l'opérateur de transport confirme également l'idée selon laquelle la séparation verticale n'est pas raisonnable. Pour obtenir ces différents résultats, les auteurs ont utilisé les indicateurs partiels de productivité pour comparer les performances des compagnies ferroviaires suédoises et anglaises. Les indicateurs utilisés couvrent les domaines de la production (volume produit, productivité du personnel et dépenses), l'aspect commercial (demande et recettes) et le domaine de la sécurité.

Pour Cantos Sánchez (2001), la décision de séparer ou non le gestionnaire de l'infrastructure nécessite une évaluation en amont de la relation qui existe entre les coûts générés par l'activité de transport et ceux de l'infrastructure. Pour comparer les coûts de ces deux entités, l'auteur estime une fonction de coût translog. L'avantage de cette approche réside dans le fait que l'estimation d'une fonction de coût est appropriée pour évaluer les performances des compagnies qui utilisent plusieurs inputs pour produire plusieurs outputs. Deux résultats émergent de cette étude : Le premier indique qu'il existe une complémentarité entre les coûts générés par l'activité du transport de marchandises et ceux de l'infrastructure. Le second résultat montre qu'il existe une substitution entre les coûts générés par l'activité du transport de voyageurs et ceux de l'infrastructure. Il recommande ainsi une coordination entre les activités du transport et ceux de l'infrastructure.

L'article proposé par Cantos et al.(2010), utilise une démarche en deux étapes pour évaluer les effets de la séparation verticale sur l'efficacité technique des compagnies ferroviaires. Dans une première étape, les auteurs utilisent des méthodes paramétriques et non paramétriques pour estimer les scores d'efficacité technique de chaque compagnie ferroviaire. Dans une seconde étape, ils utilisent un modèle TOBIT pour estimer les principaux déterminants de l'efficacité technique et en particulier l'impact de la séparation verticale. Cette étude montre que, quelle que soit la méthode retenue pour estimer les scores d'efficacité, il n'existe pas de corrélation entre le niveau d'efficacité technique et la séparation verticale.

Bitzan (2003) examine les coûts générés par l'ouverture à la concurrence du service du fret et ceux générés par la séparation entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'opérateur ferroviaire. Pour ce faire, il estime une fonction de coût et teste l'hypothèse de sous-additivité des coûts selon laquelle le coût de production d'une compagnie intégré est inférieur au coût de production d'une compagnie verticalement séparée. Cette étude montre qu'un système verticalement intégré est préféré à un système verticalement séparé puisque la séparation entre la gestion de l'infrastructure et la gestion des opérations de transport entraîne une hausse du coût d'exploitation. Comme second résultat, l'auteur montre que mettre en concurrence plusieurs compagnies sur un même réseau permet d'accroitre les coûts de production.

Pour évaluer les effets de la dérégulation sur les performances des compagnies ferroviaires suédoises, Jensen et Stelling (2007) utilisent une approche économétrique fondée sur l'estimation d'une fonction de coût. Comme pour les précédents auteurs, son analyse montre que la séparation entre la gestion de l'infrastructure et l'opération de transport entraîne une augmentation de coût. Par contre cette étude montre que l'ouverture à la concurrence entraîne une réduction du coût d'exploitation, résultat conforme avec la théorie néoclassique sur les effets de l'ouverture à la concurrence.

Selon la Commission européenne, la séparation entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'opérateur de transport est nécessaire pour une ouverture à la concurrence parce qu'elle permettra d'éviter tout comportement de discrimination et permettra ainsi à la concurrence d'être effective et parfaite. Pour la commission européenne, il existe donc une relation entre la séparation verticale et le degré d'ouverture à la concurrence.

Pour tester la significativité de cette relation, l'article proposé par Drew et Nash (2011) compare les performances des systèmes verticalement intégrés avec ceux des systèmes verticalement séparés. Pour ce faire, ils utilisent un panel constitué de 15 pays de l'Union

Européenne observés entre 1998 et 2008, qu'ils subdivisent en deux sous-échantillons. Le premier est constitué des pays qui ont opté pour une structure verticalement intégrée tandis que le second est constitué des pays qui ont opté pour structure verticalement séparée. Les performances comparées sont le degré d'ouverture à la concurrence représenté par le nombre de licences, la part de marché de chaque opérateur et les taux de croissance du trafic. Cette étude montre qu'il n'existe pas de corrélation entre la séparation verticale et le taux de croissance du trafic de fret. Pour ces auteurs, le choix entre un modèle d'organisation ne conditionne pas le degré d'ouverture à la concurrence ou encore le taux de croissance du trafic ferroviaire de marchandises.

Afin de déterminer le modèle optimal d'organisation des compagnies ferroviaires, Berger (2012) a comparé les performances de cinq pays à savoir le Canada, les Etats-Unis, le Japon, la Chine et la Russie. Les facteurs évalués sont : le trafic, le niveau d'investissement, le niveau d'efficacité et la qualité de service offert. Cette étude montre que :

- Le choix d'une structure verticalement intégrée a permis à chaque pays de réduire son coût de production.
- Interrogés, les gestionnaires des compagnies ferroviaires les plus performantes de ces pays ont affirmé que la structure intégrée leur a permis d'améliorer leurs performances

C'est l'ensemble de ces résultats qui permet à l'auteur de conclure que la séparation entre la gestion de l'infrastructure et les opérations de transports n'est pas souhaitable.

4.2.1.2 Quelques défenseurs d'une structure verticalement séparée

Avec des méthodes diverses et variées, plusieurs études réfutent l'idée selon laquelle une structure verticalement intégrée est préférable à une structure verticalement séparée. Ces auteurs s'inscrivent ainsi comme les défenseurs d'une séparation verticale. Parmi eux, on peut citer : Pedro et al. (2008) ; World Bank (2011) ; ECMT (2004) ; Kim et Kim (2001).

Pour répondre à la question de savoir s'il faut séparer ou non les activités du gestionnaire de l'infrastructure avec celles de l'opérateur des trains, l'article proposé par P. Sanchez et al. (2008) utilise une démarche en deux étapes. Dans une première étape, les auteurs ont utilisé l'indice de productivité de Malmquist pour évaluer la variation de la productivité totale d'un panel constitué de 16 systèmes ferroviaires européens observés entre

1985 et 2005. Dans la seconde étape, les auteurs ont utilisé un modèle TOBIT[4] pour analyser les principaux déterminants de la variation de la productivité globale des facteurs et en particulier l'impact d'une séparation verticale sur les gains de productivité. Cette étude montre qu'en général, l'introduction des réformes a permis d'accroitre le niveau de l'efficacité technique des compagnies ferroviaires. Ainsi les pays les plus performants sont ceux qui ont opté pour une structure verticalement séparée.

Dans un rapport publié par la banque mondiale en 2011 (World Bank, 2011), les chercheurs de cette institution ont utilisé les indicateurs partiels de mesure de la productivité pour comparer les performances des compagnies ferroviaires de l'Europe du Sud, y compris la Turquie. Les indicateurs retenus à cet effet couvrent trois domaines à savoir , la production (trafic de voyageurs et de fret), l'opérationnel (évalué par la densité du trafic total, la densité du trafic fret, la densité du trafic de voyageurs, la part du fret dans le trafic total, la productivité partielle des facteurs de production) et le domaine financier (le ratio coût total sur produit total, le ratio revenu commercial sur coût d'exploitation, la part des salaires dans le coût d'exploitation, la part des salaires dans le revenu d'exploitation, le salaire moyen par employé, le montant des subventions par unité de trafic). L'analyse proposée par ces chercheurs montre que la séparation entre la gestion de l'infrastructure et les opérations de transport permet d'améliorer l'efficacité opérationnelle des compagnies ferroviaires.

Dans un rapport publié par la Conférence européenne des ministres de transports en 2004 (ECMT, 2004), les auteurs montrent qu'en Russie, il est nécessaire de séparer les activités du gestionnaire de l'infrastructure de celles de l'opérateur des trains. Cette séparation apportera une transparence dans la gestion des activités ferroviaires. Par ailleurs, si cette séparation paraît impossible, les auteurs recommandent au minimum une séparation comptable entre ces deux entités.

En utilisant une méthodologie fondée sur l'estimation d'une frontière de coût, l'article proposé (Kim et Kim, 2001) montre que le coût total d'un système verticalement séparé est de 3,6 % inférieur au coût d'un système verticalement intégré. Ces auteurs recommandent aussi d'opter pour une structure verticalement séparée.

[4] Le modèle TOBIT est modèle statistique qui permet de décrire une relation entre une variable dépendante censurée et une variable indépendante.

4.2.1.3 Quelques études neutres sur le sujet

La troisième catégorie regroupe tous les auteurs qui pensent que la décision d'opter ou non pour une structure verticalement séparée doit être fondée sur les caractéristiques économiques du pays dans lequel la question est posée. Parmi ces auteurs on peut citer : Mizutani et Shoji (2004) ; Van de Velde et al. (2012) ; Asmild et al. (2009) ; Growitsch et Wetzel (2007) ; Mizutani et Uranishi (2012) ; Matsushima et Mizutani (2011) et SCI-Verkehr GmbH (2012).

L'article proposé par Mizutani et Shoji (2004) utilise une méthodologie fondée sur l'estimation d'une fonction de coût pour évaluer l'impact de la séparation verticale sur les coûts de maintenance de l'infrastructure. Ces auteurs comparent ainsi les coûts de maintenance de l'infrastructure d'un système verticalement séparé à ceux d'un système verticalement intégré. Ils supposent que le coût de l'infrastructure est une fonction du prix des inputs et du niveau de production. Cette méthodologie a été appliquée sur un échantillon de 76 compagnies ferroviaires privées japonaises. Comme principal résultat, l'étude montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les coûts de maintenance de l'infrastructure d'un système verticalement séparé et ceux d'un système verticalement intégré.

Dans le rapport EVS-rail rendu à la Commission européenne des compagnies ferroviaires et d'infrastructure (CER) en novembre 2012, Van de Velde et al. (2012) ont évalué l'impact de la séparation verticale sur les coûts, sur la part modale des compagnies ferroviaires, sur les subventions publiques et sur le degré d'ouverture à la concurrence. Pour ce faire, les auteurs ont utilisé des analyses qualitatives et empiriques. Ce rapport montre qu'au regard de l'évolution des parts de marché et de la concurrence intermodale, il n'existe aucune preuve concrète qui montre qu'un modèle verticalement séparé est supérieur à un modèle intégré.

Pour évaluer l'impact des réformes ferroviaires sur les performances productives et économiques des compagnies ferroviaires, l'article proposé par Asmild et al. (2009) utilise un modèle d'efficacité multidirectionnelle. Dans cette approche, le niveau d'inefficacité est déterminé par rapport à une seule variable et non par rapport à l'ensemble des variables. Autrement dit, le niveau d'inefficacité est donné par la proportion excédentaire d'un input qui a été utilisé. Comme variables de direction, les auteurs ont utilisé le coût des matières premières et le coût de la main d'œuvre, ce qui leur a permis de distinguer l'inefficacité relative au coût des matières premières et l'inefficacité relative au coût de la main d'œuvre.

Cette méthodologie a été appliquée à un panel de 23 compagnies ferroviaires observées entre 1995 et 2001. Les effets testés sont : la séparation comptable, la séparation complète, l'introduction d'un système de franchise pour l'activité transport de voyageurs et le degré d'ouverture à la concurrence de l'activité fret. Le principal résultat de l'étude est que la séparation comptable entre la gestion de l'infrastructure et l'opération de transport joue un rôle important puisqu'elle permet d'accroitre le niveau d'efficacité. Pour ce qui est de l'impact d'une séparation totale, cette étude reste neutre sur le sujet.

Pour tester l'existence des économies d'envergure dans l'industrie ferroviaire, l'article proposé par Growitsch et Wetzel (2007) utilise une méthode non paramétrique pour évaluer l'efficacité technique d'un panel de 54 compagnies ferroviaires européennes observées entre 2000 et 2004. Cet article teste l'hypothèse selon laquelle les compagnies ferroviaires verticalement intégrées réalisent des économies d'envergure et que par conséquent elles produisent les services ferroviaires avec plus d'efficacité. Cette étude montre que la performance des compagnies ferroviaires ne dépend pas du modèle d'organisation puisque l'on retrouve de bonnes et de mauvaises performances aussi bien dans les structures totalement intégrées que partiellement intégrées. Cette étude reste donc neutre sur la supériorité d'un modèle d'organisation par un autre.

Contrairement à Growitsch et Wetzel, (2007) qui ne se prononcent pas sur la décision de séparer ou non les activités du gestionnaire de l'infrastructures de celles de l'opérateur des trains, pour Mizutani et Uranishi (2012) et Matsushima et Mizutani (2011), la décision de séparer les deux entités dépend de la densité du trafic et de la taille du marché.

Pour analyser les principaux déterminants du choix d'un modèle d'organisation, l'article proposé par Matsushima et Mizutani (2011) utilise une analyse théorique fondée sur un modèle d'un monopole en aval à trois acteurs à savoir, le personnel (main d'œuvre), l'opérateur de transport et le gestionnaire de l'infrastructure. La méthode utilisée par les auteurs consiste à comparer le profit d'une structure verticalement séparée à celui d'une structure verticalement intégrée. La résolution des programmes montre que la décision d'opter pour une structure verticalement intégrée dépend de la taille du marché.

Contrairement à Matsushima et Mizutani (2011) qui utilisent une approche purement théorique, l'article proposé par Mizutani et Uranishi (2012) utilise une analyse empirique fondée sur l'estimation de la fonction de coût des compagnies ferroviaires. Deux hypothèses sont testées :

– le coût d'une structure verticalement séparée est inférieur ou égal à celui d'une structure verticalement intégrée,
– l'effet croisé d'un changement de structure et d'une augmentation de la densité du trafic.

Cette méthodologie a été appliquée à un panel de 23 compagnies ferroviaires observées entre 1997 et 2007. Les résultats des différents tests ont permis aux auteurs de constater d'une part qu'une structure verticalement séparée a un coût de production inférieur à celui d'un système verticalement intégré. D'autre part, lorsque la densité du trafic est élevée, la structure verticalement intégrée est préférée, car elle a un coût de production plus faible que celui d'une structure verticalement séparée. Ces deux articles arrivent à la conclusion selon laquelle, si la densité du trafic est faible, alors il est préférable d'opter pour une structure verticalement séparée, par contre si la densité des trains est élevée, la structure verticalement intégrée doit être privilégiée.

Enfin dans un rapport publié en 2012 par le cabinet de conseil SCI Verkehr (SCI-Verkehr GmbH, 2012), les auteurs se proposent de comparer les performances d'un panel de 6 pays à savoir : l'Allemagne, la France, la Suisse, le Royaume-Uni, l'Autriche et la République Tchèque observés entre 1994 et 2011. Cinq critères de comparaison ont été retenus :

- Le développement des services de transport,
- Le développement de la concurrence,
- Le niveau du développement économique,
- Le niveau des contributions publiques dans l'investissement,
- L'évolution de la main d'œuvre.

Rappelons que cette comparaison avait pour but d'analyser l'impact des différentes réformes européennes sur les performances. Trois conclusions émergent de cette analyse.

- Le développement des chemins fer ne dépend que faiblement du modèle d'organisation des compagnies ferroviaires, mais il est étroitement lié aux décisions politiques visant à accroitre la part du transport ferroviaire.
- Dans ces pays, les activités du gestionnaire de l'infrastructure sont en général réglementées par l'Etat, en dépit du fait qu'au Royaume-Uni, le gestionnaire de l'infrastructure soit une compagnie entièrement privatisée et totalement indépendante des opérateurs de transport.

- En Allemagne, le gestionnaire de l'infrastructure et l'opérateur des trains sont organisés sous forme de holding, mais dans ce pays, il existe un fort degré d'ouverture à la concurrence des activités ferroviaires.

Cette brève revue de littérature montre qu'avec des méthodes diverses et variées, plusieurs auteurs ont essayé d'analyser l'impact du choix d'un modèle d'organisation sur les performances des chemins de fer. Cependant, cette littérature demeure non concluante en ce qui concerne les effets réels du choix d'un modèle d'organisation sur les performances, puisque les avis sont assez divergents.

4.2.2 Libéralisation et concurrence des chemins de fer : quel impact sur les performances.

Les analyses empiriques présentées dans la section 4.2.1 ont principalement utilisé des variables binaires pour évaluer la libéralisation des activités ferroviaires et en particulier l'impact de la séparation verticale sur les performances des chemins de fer.

Cette approche est assez simpliste, puisqu'elle ne rend pas totalement compte du degré de libéralisation des activités ferroviaires. Depuis 2002, le cabinet de conseil *IBM Global Business Services* a proposé une nouvelle approche pour évaluer le degré de libéralisation : **l'indice global de libéralisation** (voir 4.1.2 pour le détail de cette variable). Cette nouvelle forme d'évaluation du degré de libéralisation a donc retenu l'attention de plusieurs chercheurs et professionnels. Parmi ces auteurs on peut citer : Duranton et al. (2012) ; Pham (2013) ; Merkert et al. (2010) et Kleinová (2016). Rappelons que cette nouvelle variable a été publiée uniquement en 2002, 2004, 2007 et 2011, ce qui pourra dans certain cas constituer une limite à l'étude proposée.

Dans un rapport publié en 2012 par la cabinet de conseil *Boston Consulting Group*, Duranton et al. (2012) proposent une analyse descriptive afin identifier les principaux facteurs qui expliquent le niveau de performance des compagnies ferroviaires européennes. Dans cette approche, la performance est évaluée respectivement par l'intensité d'utilisation de l'infrastructure (33 %), la qualité de service (33 %) et le niveau de sécurité (33 %). Le taux d'utilisation de l'infrastructure est mesuré d'une part, par le rapport entre le nombre de voyageurs-km et la population totale et d'autre part, par le rapport entre le nombre de tonnes-km et la population totale. Pour la qualité de service, les auteurs ont retenu la ponctualité des trains de la vie quotidienne, la ponctualité des trains de longue distance, la ponctualité des trains à grande vitesse et le prix moyen d'un voyageur-km. Enfin pour le niveau de sécurité,

les auteurs ont utilisé le nombre d'accidents par train-km et le nombre de décès par train-km. Cette méthodologie a été appliquée à un échantillon de 24 pays européens observés en 2012.

Plusieurs résultats émergent de cette étude:

- La France, l'Allemagne, la Suisse, la Suède et l'Autriche sont les pays les plus performants puisqu'ils ont un indice de performance supérieur ou égal à 6 points.
- Il existe d'une part une faible corrélation entre le niveau de performance et le degré de libéralisation et d'autre part une faible corrélation entre le choix d'un modèle d'organisation et le niveau de performance.
- Par contre il existe une corrélation significative entre la performance et le montant des subventions accordées par l'Etat.

Pour évaluer les effets de la libéralisation ferroviaire sur les performances des chemins de fer, Pham (2013) utilise une méthodologie fondée sur l'estimation d'une fonction de production. Cet auteur teste donc l'hypothèse selon laquelle l'ouverture à la concurrence à un impact sur le niveau de production. Dans son analyse, l'auteur considère que la production globale d'une compagnie peut s'écrire comme une combinaison linéaire du nombre de voyageurs-km et du nombre de tonnes-km. Cette hypothèse lui permet donc d'estimer une fonction de production dans laquelle les inputs utilisés sont le capital (la longueur des voies) et la main d'œuvre (le nombre d'employés) et la variable COM publiée par IBM et Kirchner (2011). Les résultats du test de Student permettent à cet auteur de constater qu'une amélioration du niveau d'ouverture à la concurrence accroit le niveau de production et par conséquent le niveau de productivité. Ainsi il existerait une corrélation positive et significative entre le degré d'ouverture à la concurrence et la productivité des compagnies.

L'article publié par Merkert et al. (2010), étudie l'impact des coûts de transaction et des formes d'organisation sur l'efficacité technique des compagnies ferroviaires. Pour ce faire, les auteurs ont utilisé une démarche en deux étapes. Dans la première étape, la méthode de l'enveloppement des données a été utilisée pour évaluer l'efficacité technique tandis que dans une seconde étape, le modèle TOBIT a été estimé pour mesurer l'impact des coûts de transaction et des formes d'organisations sur l'efficacité technique.

Pour illustrer cette méthodologie, les auteurs ont utilisé un échantillon de 43 compagnies ferroviaires européennes opérant en Allemagne, au Royaume-Uni et en Suède. Cette étude montre qu'une augmentation du coût de transaction réduit significativement le niveau d'efficacité technique. Le coût de transaction est donc un déterminant important du

choix d'un modèle d'organisation. Cette étude montre également que le choix d'une structure verticalement séparée n'a pas d'impact significatif sur le niveau d'efficacité technique.

Plus récemment, l'article publié par Kleinová (2016) s'est également intéressé à l'impact de la libéralisation des activités ferroviaires sur les performances des compagnies. Comme les études précédentes, l'auteur a également utilisé une démarche en deux étapes. Dans une première étape, la méthode de l'enveloppement des données est utilisée pour mesurer l'efficacité technique d'un panel composé de 27 pays européens observés entre 2002 et 2011. Dans une seconde étape, le modèle TOBIT est utilisé pour estimer les principaux déterminants des performances des chemins de fer et en particulier pour analyser l'impact de l'ouverture à la concurrence et de la dynamique concurrentielle sur l'efficacité technique.

Cette étude montre que, la dynamique concurrentielle n'a pas d'impact sur le niveau d'efficacité tandis le degré d'ouverture à la concurrence a pour seul effet de réduire le niveau d'efficacité technique.

4.3 Méthodologie et analyses descriptives

Cette section a pour objectif de présenter le modèle économétrique qui nous permettra d'identifier les principaux déterminants des performances des chemins de fer. Il s'agira pour nous de définir le modèle, de présenter les différentes hypothèses à tester ainsi que les caractéristiques de tendance centrale des variables qui seront utilisées.

4.3.1 Modèle

En économétrie, le choix d'un modèle d'estimation est généralement fonction de la variable à expliquer, l'on distingue ainsi les modèles qualitatifs et les modèles quantitatifs. Dans notre cas, les performances sont données par l'efficacité productive, l'efficacité technique, l'efficacité commerciale et la variation de la productivité totale des facteurs. Les valeurs de ces variables ont été estimées au chapitre précédent.

Comme ces variables prennent des valeurs comprises entre zéro et un, nous pensons qu'un modèle TOBIT permettra de mieux ajuster la relation qui existe entre la performance des compagnies ferroviaires et ses potentiels déterminants.

En effet, le modèle TOBIT a été proposé par James Tobin (1958), il fait référence aux modèles à variables dépendantes limitées pour lesquels la variable dépendante est continue mais observable uniquement sur un intervalle. Dans notre cas, le vecteur des performances

prend des valeurs comprises entre zéro et un. Les modèles à variables dépendantes limitées découlent des modèles à variables qualitatives, qui sont généralement employés pour évaluer la probabilité que la variable dépendante appartienne à un intervalle pour lequel elle est observable.

Le modèle TOBIT suppose qu'il existe une variable latente (non observée) $Y^{*,}$ qui peut s'écrire comme une combinaison linéaire d'un certain nombre de variables explicatives X_i. Autrement dit, le modèle TOBIT présume qu'il existe une variable latente Y^* qui dépend d'un certain nombre de variables indépendantes regroupées dans une matrice X et dont les effets sont regroupés dans le vecteur β. Les valeurs observées de Y peuvent s'écrire comme suit :

Équation 4-1. Modèle TOBIT

$$I(Y) = \begin{cases} 0 & si \quad Y^* \leq 0 \\ Y & si \quad 0 \leq Y^* \leq 1 \end{cases}$$

Avec Y^* la variable latente définie par l'équation 4-2.

Équation 4-2 : la variable latente

$$Y^* = \alpha + \beta X_j + \varepsilon_j$$

Dans l'équation 4-2, X_i est le vecteur des variables explicatives, β le vecteur des paramètres à estimer et ε_i le terme aléatoire qui suit une loi normale de moyenne nulle et d'écart type constant :

$$\varepsilon_i \square N(0, \sigma_\varepsilon)$$

4.3.2 Technique d'estimation

La technique du maximum de vraisemblance est généralement utilisée pour estimer l'équation 4-2. Pour un échantillon de taille N, la fonction de vraisemblance et le logarithme de cette fonction peuvent s'écrire comme suit :

Équation 4-3 : Fonction de vraisemblance

$$L(\beta,\sigma) = \prod_{j=1}^{N} \left(\frac{1}{\sigma} \phi \left(\frac{Y_j - X_j\beta}{\sigma} \right) \right) \times \left(1 - \Phi \left(\frac{Y_j - X_j\beta}{\sigma} \right) \right)^{1-I(Y_j)}$$

Équation 4-4 : Logarithme de la fonction de vraisemblance

$$\log L(\beta,\sigma)=\sum_{j=1}^{N} I(Y_j)\log\left[\frac{1}{\sigma}\phi\left(\frac{Y_j-X_j\beta}{\sigma}\right)\right]+\left(1-I\left(Y_j\right)\right)\log\left[1-\Phi\left(\frac{Y_j-X_j\beta}{\sigma}\right)\right]$$

4.3.3 Analyse descriptive

Comme indicateurs de mesure de la performance, nous avons retenu : l'efficacité productive (EP), l'efficacité commerciale (EC), l'efficacité technique (ET) et la variation de la productivité totale des facteurs (TFP). Ces indicateurs ont été calculés au chapitre précédent grâce à la méthode des frontières stochastiques. Comme potentiel déterminant de la performance nous avons retenu :

a. Variables de contrôle

- La densité de la population (DSP) : elle mesure le nombre d'habitants au kilomètre carré. On s'attend à un signe positif, car une densité élevée de la population pourrait accroitre le taux d'utilisation des inputs et par conséquent rendre la compagnie plus efficace.
- La PIB par habitant (GDP) : Cette variable peut influencer positivement les performances des compagnies, puisqu'une augmentation du niveau du PIB/ht pourrait entraîner une forte mobilité des usagers du train.
- Le parcours moyen d'un voyageur (PMV) : C'est la distance moyenne parcourue par un voyageur. Cette variable permet d'effectuer la différence entre le trafic longue distance et le trafic régional. Elle peut influencer positivement la performance.
- Le parcours moyen d'une tonne (PMF) : il s'agit de la distance moyenne parcourue par tonne de marchandises, cette variable peut avoir un effet positif ou négatif sur la performance.
- La superficie de chaque pays (SUPERF) : elle permet d'évaluer les économies d'échelle.
- Le pourcentage des lignes électrifiées (PLE) : Cette variable peut influencer positivement les performances, puisqu'une augmentation du nombre de lignes électrifiées pourrait entraîner une réduction de la main d'œuvre et par conséquent accroitre le niveau de productivité.

- Structure du trafic (TSTRUC) : elle nous permet de corriger la différence de coût qui existe entre production des services de voyageurs et la production des services de fret.
- Le nombre de tonnes par wagon (TRF) et le nombre de voyageurs par voiture (TRV) mesurent le taux de remplissage des trains. Ces variables peuvent négativement influencer le niveau d'efficacité, car selon Oum et Yu (1994), le coût d'un train-km croit avec le taux de remplissage du train.
- La part de marché du transport de voyageurs (PMaV) et la part de marché du fret (PMaF), qui mesurent le niveau de croissance du marché ferroviaire comparé aux autres modes de déplacement. Ces variables mesurent aussi le niveau de concurrence intermodale. On s'attend donc à ce qu'elles aient des signes positifs.
- TREND : c'est la variable de tendance (année) qui mesure l'influence du changement technologique à travers une variable temporelle. L'effet attendu peut être positif ou négatif.
- La densité des trains (TDEN) : elle est égale au trafic total évalué en trains-kilomètre rapporté à la longueur du réseau. C'est une variable qui permet d'évaluer les économies de densité.

b. Les variables à tester

Comme indicateurs de mesure du degré de libéralisation des activités ferroviaires, nous avons utilisé les variables publiées par IBM et Kirchner (2011, 2007, 2004).

- La variable LIB qui évalue l'intensité des barrières légales ou pratiques à l'entrée sur le marché. Elle contient des informations sur le modèle d'organisation des compagnies (20 %) et les informations sur les barrières à l'entrée (80 %). Cette variable pourrait positivement influencer le niveau des performances.
- La variable COM qui mesure la dynamique concurrentielle. Ses principales composantes sont : la variation de la part modale (20 %), le nombre de compagnies externes (20 %) et la part de marché des compagnies ferroviaires externes (60 %).

Selon la théorie néoclassique, l'ouverture d'un marché à la concurrence permet de réduire les coûts des entreprises engagées sur ce marché. On s'attend à ce que ces variables influencent positivement le niveau de performance. C'est d'ailleurs l'idée défendue par la Commission européenne.

Tenant compte des variables explicatives, les équations à estimer peuvent s'écrire comme suit :

Équation 4-5 **: Modèle TOBIT avec COM**

$$EE_{it} = \beta_0 + \beta_1 COM_{it} + \beta_2 TRF + \beta_3 TRV + \beta_4 GDP + \beta_5 SUPERF + \beta_6 TDEN + \beta_7 TSTRUCT + \beta_8 PEL + \beta_9 PMaV + \beta_{10} PMaF + \beta_{11} PMV + \beta_{12} PMF + \beta_{13} TREND + \varepsilon_{it}$$

Équation 4-6 : Modèle TOBIT avec LIB

$$EE_{it} = \beta_0 + \beta_1 LIB_{it} + \beta_2 TRF + \beta_3 TRV + \beta_4 GDP + \beta_5 SUPERF + \beta_6 TDEN + \beta_7 TSTRUCT + \beta_8 PEL + \beta_9 PMaV + \beta_{10} PMaF + \beta_{11} PMV + \beta_{12} PMF + \beta_{13} TREND + \varepsilon_{it}$$

Dans ces différentes équations, la variable EE représente le niveau de performance, elle sera donc remplacée par l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité et la variation de la productivité totale des facteurs. β_0, β_2 ……, β_{13} sont les paramètres à estimer et ε_{it}, est le terme d'erreur qui suit une loi normale de moyenne nulle et de variance constante.

c. Les données

L'échantillon utilisé pour évaluer l'impact de l'ouverture à la concurrence et du degré de libéralisation sur les performances est le même que celui qui a été présenté au chapitre 3. Les tableaux 4-1, 4-2 et 4-3 présentent les valeurs moyennes de variables qui seront utilisées dans le modèle TOBIT.

Tableau 4-1 **: Statistiques descriptives**

ID	SUPERF	PEL	PMaF	PMaV	PMF	PMV
Autriche	83869	0,632504	33,047	10,120	195,901	45,061
Belgique	30528	0,813290	13,233	6,527	137,116	48,692
Bulgarie	110959	0,671008	25,883	6,180	249,827	71,276
République Tchèque	78866	0,314432	26,733	7,733	171,567	38,278
Danemark	43088	0,229645	8,987	8,247	268,357	37,479
Finlande	338258	0,451933	24,987	5,007	249,141	58,938
France	632834	0,495255	17,613	9,093	387,867	79,804
Allemagne	357063	0,587571	20,153	7,660	293,292	40,532
Hongrie	93029	0,348786	25,267	12,767	174,116	59,515
Italie	301336	0,678952	10,760	5,580	333,851	95,004
Pologne	312684	0,578362	33,207	8,247	232,592	67,636
Portugal	92071	0,427866	6,440	4,427	235,134	25,879
Roumanie	238391	0,364956	31,560	11,873	226,881	89,469
Slovaquie	49035	0,426229	32,113	7,200	196,103	45,551
Slovénie	20273	0,412010	24,307	2,693	208,365	49,185
Espagne	505994	0,587251	5,833	5,233	479,020	45,273
Suède	441295	0,698589	36,200	8,120	436,894	66,272
MOYENNE	219387	0,514622	22,092	7,453	263,296	56,697

D'après le tableau 4-1, on constate qu'en moyenne 22 % du trafic total de marchandises est effectué par le rail, contre 7,45% pour le trafic de voyageurs. Entre 1997 et

2011, l'évolution de la valeur moyenne de la part de marché du fret et l'évolution de la part de marché du transport de voyageurs affiche un déclin régulier, ce qui montre que le rail ne parvient pas à rivaliser avec les autres modes. Malgré ce déclin global, notons qu'en Autriche, en Pologne, en Roumanie, en Slovaquie et en Suède, le transport ferroviaire de marchandises a une part modale supérieur à 30 %. Pour l'activité transport de voyageurs, l'Autriche, la Hongrie et la Roumanie ont des parts modales supérieures à 10 %.

Pour cet échantillon, la distance moyenne parcourue par un voyageur est de 56,7 km contre 263,3 km pour une tonne. De ce point de vue, la Bulgarie (71 km), la France (79 km), l'Italie (95 km) et la Roumanie (89) sont les pays qui ont une distance moyenne supérieure à 70 km. Dans ces pays, le transport de voyageurs longue distance est l'activité dominante. Par contre en République Tchèque (38 km), au Danemark (37 km), en Allemagne (40 km), au Portugal (26 km), en Slovaquie (46 km), en Slovénie (49 km) et en Espagne (45 km), on peut penser que le transport de voyageurs courte distance est l'activité principale.

Dans le même ordre d'idées, les données montrent que la distance moyenne parcourue par une tonne est de 479 km en Espagne, 436 km en Suède, 387 km en France, 334 km en Italie et 297 km en Allemagne. Les pays dont la distance moyenne est inférieure à 200 km sont l'Autriche (195 km), la Belgique (137 km), la République Tchèque (171 km), la Hongrie (174 km) et la Slovaquie (196 km), des pays de plus petite taille. Pour l'ensemble de l'échantillon, la distance moyenne est estimée à 263 km,

Tableau 4-2 : **Statistiques descriptives (suite)**

ID	TRF	TRV	GDP	DSP	TDEN	TSTRUC
Autriche	374,21	98,70	30126,67	99,12	20839,48	0,34
Belgique	536,31	113,58	28600,00	345,89	14997,62	0,53
Bulgarie	429,78	114,62	3146,67	70,33	5879,77	0,37
République Tchèque	438,78	62,95	10240,00	133,31	9119,94	0,30
Danemark	450,08	97,80	37620,00	125,68	20340,85	0,75
Finlande	587,53	114,09	30186,67	17,23	5514,16	0,26
France	415,39	195,42	27146,67	98,74	10091,33	0,63
Allemagne	448,27	98,54	28386,67	229,92	15880,30	0,46
Hongrie	511,88	119,23	7640,00	108,48	8640,63	0,51
Italie	406,44	184,81	24313,33	196,04	13868,65	0,69
Pologne	629,39	131,11	6493,33	122,30	5842,71	0,28
Portugal	336,94	131,88	14353,33	113,20	12054,32	0,64
Roumanie	573,82	128,47	3746,67	95,07	4657,84	0,36
Slovaquie	573,01	75,14	7466,67	109,77	13982,10	0,21
Slovénie	411,06	65,20	14146,67	99,67	8747,07	0,19
Espagne	327,36	151,30	19553,33	85,57	9100,48	0,65
Suède	510,41	106,32	33780,00	22,06	8690,52	0,30
MOYENNE	468,27	117,01	19232,16	121,90	11073,40	0,44

D'après le tableau 4-2, le nombre moyen de tonnes par train de marchandises est 468 tandis que le nombre moyen de voyageurs par train de voyageurs s'élève à 117. Notons que ces indicateurs montrent le niveau d'utilisation du matériel roulant. Avec 195 voyageurs par train, la France est le pays dont le taux d'utilisation du matériel roulant est le plus élevé. A sa suite on peut citer : l'Italie (184), l'Espagne (152), le Portugal (132), la Pologne (131) et la Roumanie (124). Au bas de ce classement se trouvent : la République Tchèque (63), la Slovénie (65) et la Slovaquie (75). Pour l'activité transport de marchandises, la Pologne arrive en tête avec une moyenne de 629 tonnes par train. Elle est suivie par la Finlande (587), la Roumanie (574), la Slovaquie (573) et la Hongrie (512).

D'un point de vue du taux d'utilisation de l'infrastructure, l'Autriche arrive en première position avec une densité de trains de 20839, suivie par le Danemark avec une moyenne de 20340. L'Allemagne arrive en troisième position avec une moyenne de 15880, suivie par la Belgique (14998) et la Slovaquie (13982). Au bas de ce classement on retrouve la Roumanie (4658), la Finlande (5514) et la Pologne (5843).

L'analyse de la structure du trafic révèle que le trafic de voyageurs représente en moyenne 75 % du trafic total ferroviaire au Danemark, 69 % en Italie, 65 % en Espagne, 64 % au Portugal et 63 % en France. Ces chiffres montrent que dans ces pays, le transport de voyageurs est l'activité dominante. Par contre en Slovénie (19 %), en Slovaquie (21 %), en Finlande (26 %), en Pologne (28 %), en République Tchèque (30 %), en Suède (30 %), en Autriche (34 %), en Roumanie (36 %), en Bulgarie (37 %), le transport de marchandises est l'activité dominante.

Les pays les plus densément peuplés sont la Belgique (345 hts/km^2), l'Allemagne (229 hts/km^2), l'Italie (196 hts/km^2), la République Tchèque (133 hts/km^2) et le Danemark (125 hts/km^2). Au bas de l'échelle se trouvent la Finlande (17 hts/km^2), la Suède (22 hts/km^2) et la Bulgarie (70 hts/km^2).

En termes de PIB annuel par habitant, les pays les plus riches sont : le Danemark (37 620 €), la Suède (33 780 €), la Finlande (30 187€) l'Autriche (30 126 €) et la Belgique (28 600 €). Au bas du classement on retrouve la Slovaquie et la Hongrie.

Les valeurs moyennes de la dynamique concurrentielle (COM) et du degré d'ouverture à la concurrence (LIB) sont présentées dans le tableau 4-3. La Suède peut être considérée comme le pays le plus avancé en matière de libéralisation puisqu'elle a un indice d'ouverture à la concurrence de 809 et de 599 pour l'indice de la dynamique concurrentielle. Elle est suivie par l'Allemagne qui enregistre une moyenne de 799,8, pour l'ouverture à la

concurrence et 557 pour l'indice de la dynamique concurrentielle. Au troisième rang on retrouve l'Autriche (697 et 379). L'Italie occupe la quatrième place (682 et 326).

Parmi les pays où la libéralisation tarde à se mettre en place on peut citer la Bulgarie (435, 210), l'Espagne (446, 198) et la France (493, 213).

Tableau 4-3 : **Statistiques descriptives (suite et fin)**

ID	TFP	EP	EC	ET	OL	COM
Autriche	1,02165	0,91956	0,69510	0,93075	697,4091	379,4545
Belgique	1,03316	0,91284	0,88929	0,87581	604,7273	264,3182
Bulgarie	0,93467	0,86656	0,89243	0,80310	435,9091	210,6364
République Tchèque	1,07432	0,92855	0,75159	0,66307	594,4091	271,9091
Danemark	0,89711	0,91673	0,85408	0,86811	768,9091	520,9545
Finlande	0,86460	0,88204	0,93908	0,90302	595,2727	149,4091
France	1,18137	0,88182	0,90592	0,91257	493,0455	213,1818
Allemagne	1,23375	0,91470	0,85935	0,82409	799,8182	557,9545
Hongrie	1,03512	0,87940	0,88714	0,84609	495,2273	282,0000
Italie	1,14703	0,88254	0,89303	0,89297	682,3182	326,6364
Pologne	1,16978	0,86569	0,93282	0,86094	594,4091	360,5000
Portugal	0,88094	0,87645	0,91666	0,89859	663,0909	274,9091
Roumanie	1,01928	0,82418	0,93380	0,77450	460,7273	294,9545
Slovaquie	1,05884	0,85193	0,91271	0,84550	561,6364	301,5455
Slovénie	0,84306	0,91912	0,87064	0,87989	499,5000	183,1818
Espagne	0,96603	0,90298	0,79777	0,84022	446,1818	198,0909
Suède	0,87869	0,91933	0,83987	0,85848	809,2727	599,0909
MOYENNE	1,014083	0,8908493	0,8688972	0,8516296	600,1096	316,984

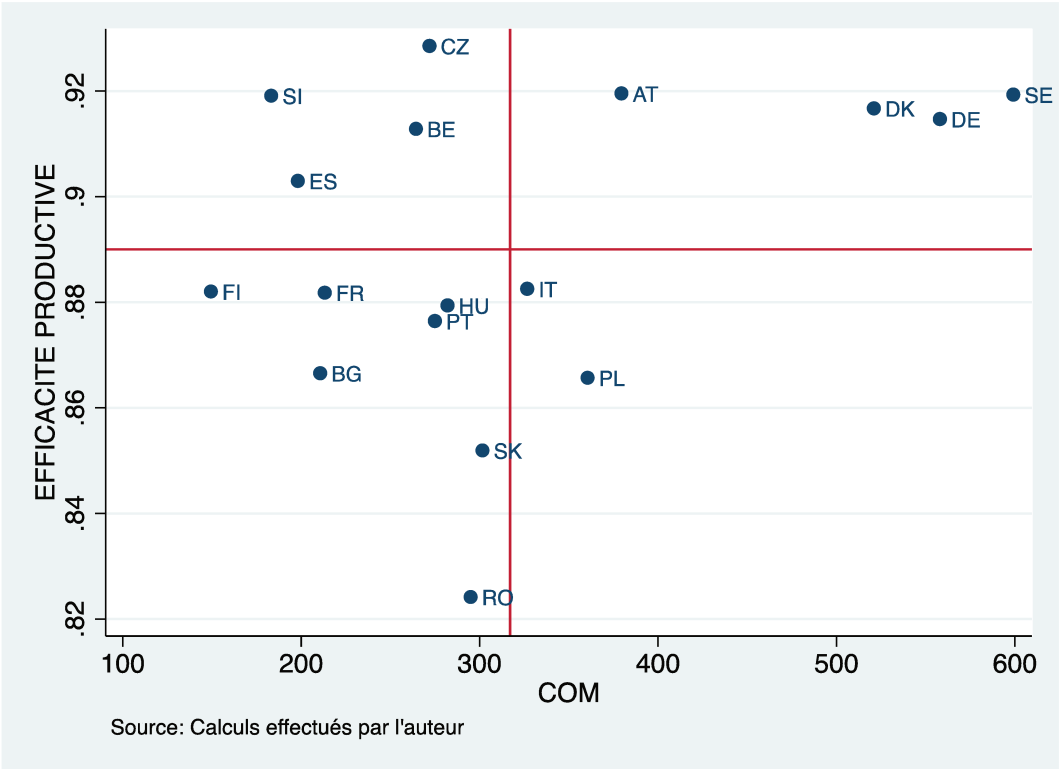


Figure 4-6 : **Nuage de points entre EP et COM**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

La figure 4-6 présente le nuage des points dont les variables sont l'efficacité productive (EP) et l'indice de la dynamique concurrentielle (COM). L'analyse de cette figure nous permet de diviser notre échantillon en quatre sous-échantillons. Le premier est constitué des pays tels que la Finlande (FI), la France (FR), la Hongrie (HU), le Portugal (PT), la Slovaquie (SK) et la Roumanie (RO). Il s'agit des pays dont l'indice de la dynamique concurrentielle est inférieur à la moyenne de l'échantillon (COM<316) et le score moyen d'efficacité technique est également inférieur à la moyenne de l'échantillon (EP<0.89). Il s'agit des pays à faible niveau de performance et faible indice de libéralisation.

Le deuxième échantillon est constitué des pays qui ont un score moyen d'efficacité productive supérieure à la moyenne, mais avec un indice d'ouverture à la concurrence inférieure à la moyenne. Dans cette sous-catégorie on retrouve, l'Espagne (ES), la Belgique (BE), la République Tchèque (CZ) et la Slovénie (SI).

Le troisième échantillon comprend, la Pologne (PT) et l'Italie (IT). Il s'agit des pays qui ont un faible niveau d'efficacité (EP<0.89), mais une forte ouverture à la concurrence (COM>319).

Enfin le quatrième échantillon comprend, l'Autriche (AT), le Danemark (DK), l'Allemagne (DE) et la Suède (SE). Il s'agit des pays qui ont un fort score d'efficacité et un fort indice d'ouverture.

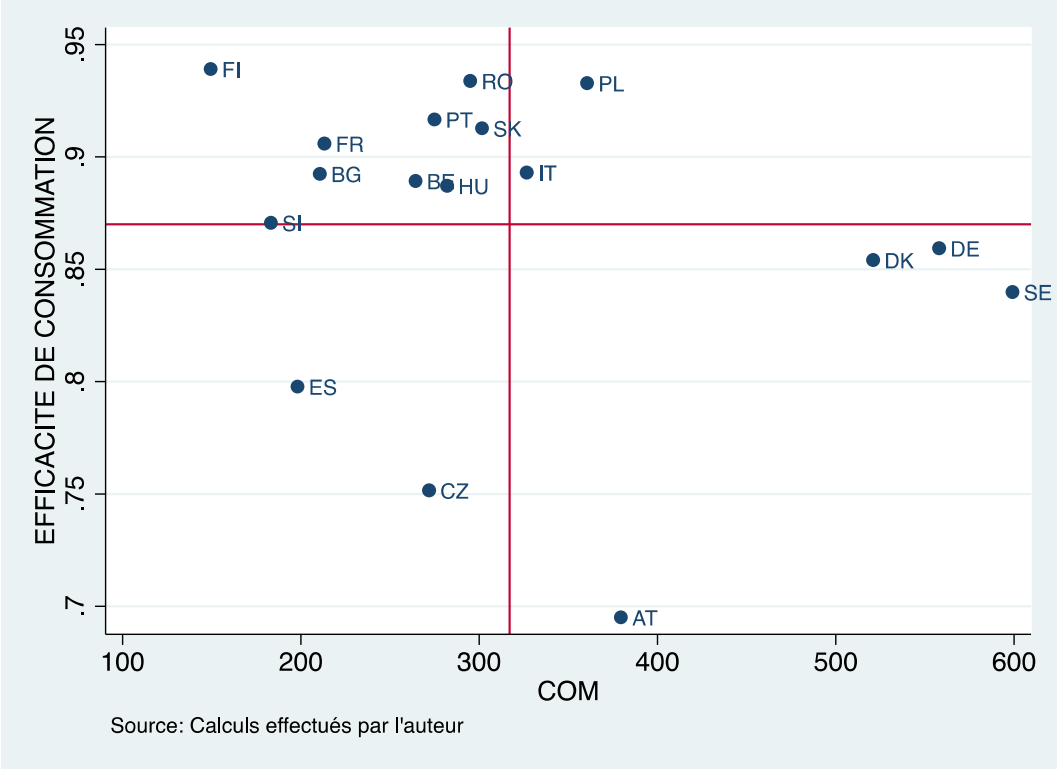


Figure 4-7 : **Nuage des points entre EC et COM.**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

L'analyse du nuage des points dont, les variables sont l'efficacité commerciale (EC) et l'indice de la dynamique concurrentielle (COM) (voir figure 4-7) donne une répartition assez différente.

Les pays dont le score d'efficacité commerciale est faible ainsi que l'indice de la dynamique concurrentielle sont l'Espagne (ES) et la République Tchèque (CZ). L'Italie et la Pologne sont les pays qui ont un fort score d'efficacité commerciale et un fort indice d'ouverture à la concurrence. Par contre au Danemark (DK), en Allemagne (DE) et en Suède (SE), le niveau élevé de l'indice de la dynamique concurrentielle est associé à un faible niveau d'efficacité commerciale. Pour le reste de l'échantillon, les données révèlent une faible dynamique concurrentielle associée à un score élevé d'efficacité commerciale.

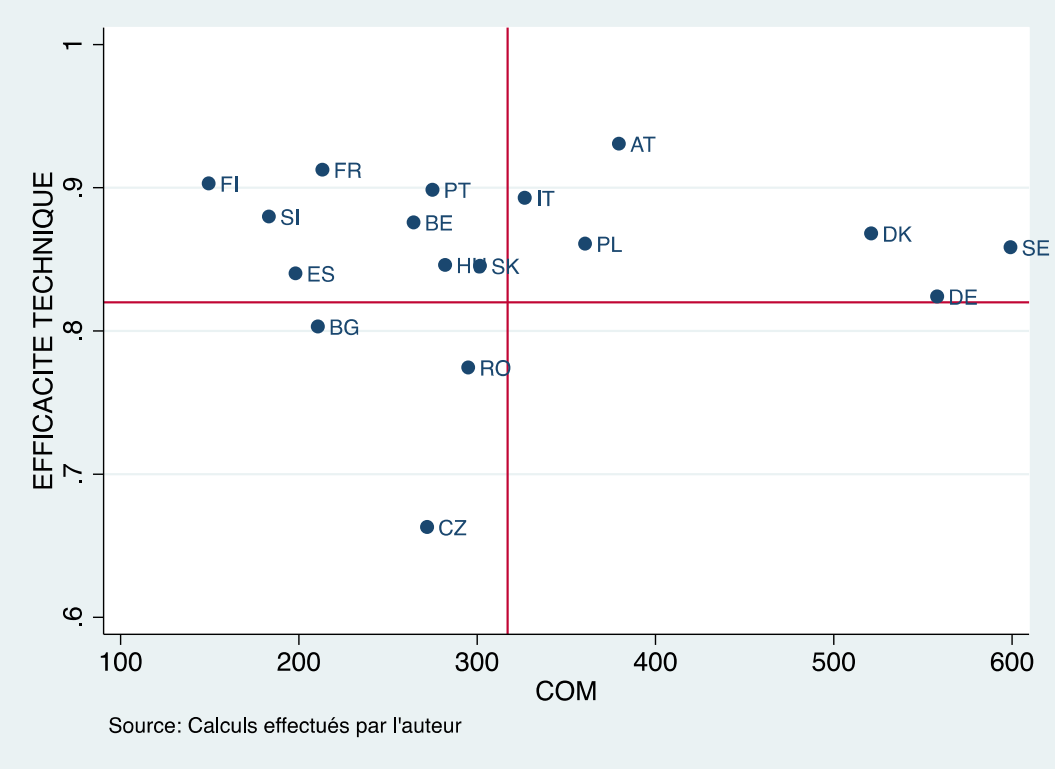


Figure 4-8 **Nuage des points entre ET et COM.**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

La figure 4-8 présente le nuage des points dont les variables sont la dynamique concurrentielle et le niveau d'efficacité technique. La lecture de ce graphique, nous amène à distinguer trois catégories de pays :

- La première catégorie regroupe la Bulgarie (BG), la Roumanie (RO) et la République Tchèque (CZ), pays dont la faible performance technique est associée à une faible dynamique concurrentielle.
- L'Autriche (AT), la Pologne (PL), l'Italie (IT), le Danemark (DK) l'Allemagne (DE) et la Suède (SE) constituent le deuxième groupe. Il s'agit des pays où la forte performance technique est associée à une forte dynamique concurrentielle.
- Le troisième sous échantillon est constitué du reste des pays. Dans cette catégorie, le niveau élevé de la performance technique est associé à une faible dynamique concurrentielle.

Enfin la figure 4-9 présente le nuage de points dont les variables sont la dynamique concurrentielle et la variation de la productivité totale des facteurs. Ce nuage de points laisse prétendre un ajustement linéaire entre la variation de l'efficacité technique et l'indice d'ouverture à la concurrence.

On peut donc penser qu'une variation de la dynamique concurrentielle pourrait entraîner une amélioration des gains de productivité. Si cette logique semble se vérifier pour la majorité des pays, une exception est faite pour la France (FR), (caractérisée par des gains de productivité élevés avec une faible dynamique concurrentielle), le Danemark (DK) et la Suède (SE), (caractérisés par de faible gains de productivité et une forte dynamique concurrentielle).

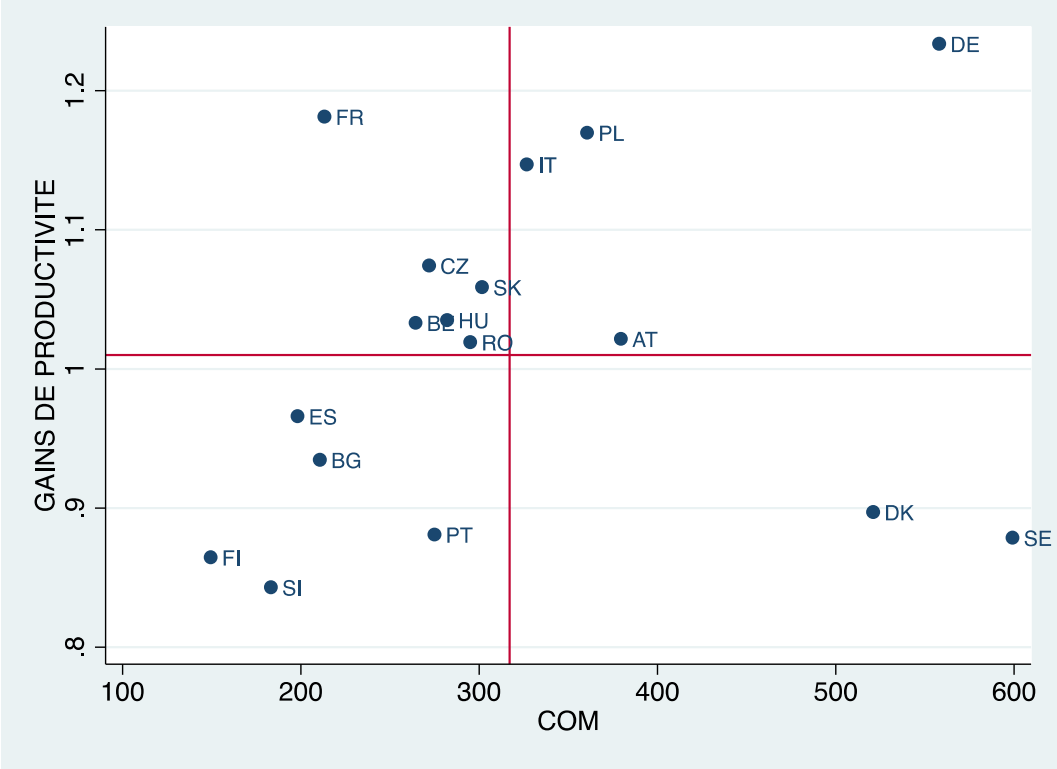


Figure 4-9 **: Nuage de points entre la variation de la productivité totale et COM**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

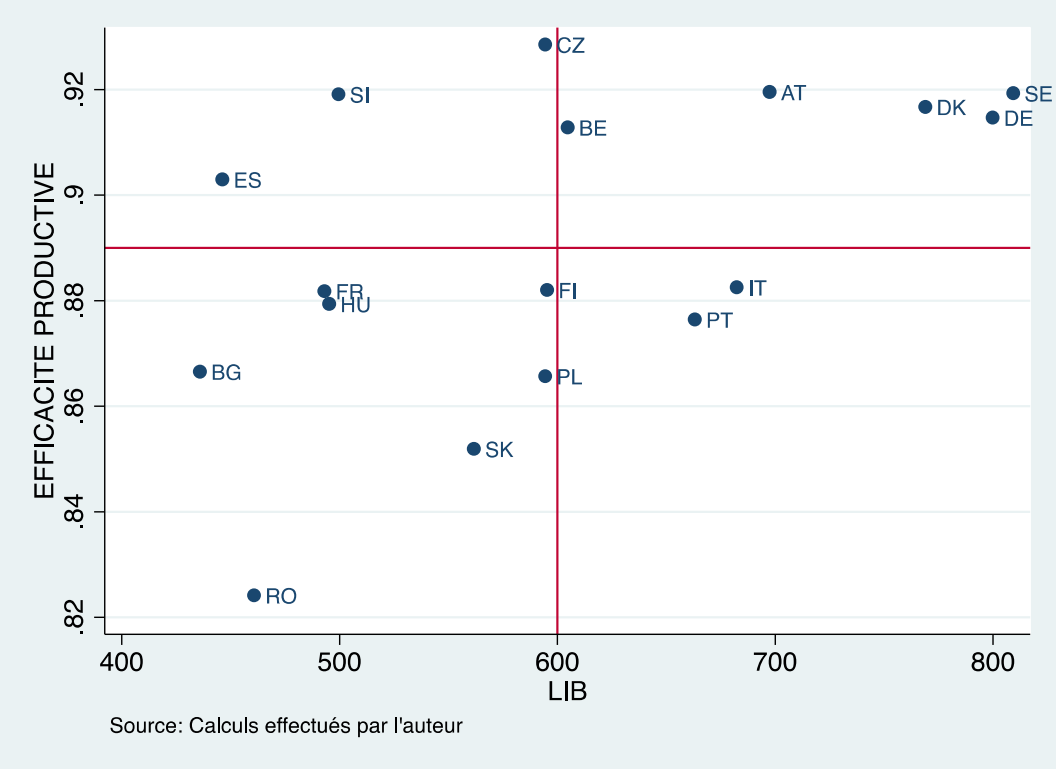


Figure 4-10 : **Nuage de point entre EP et LIB**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

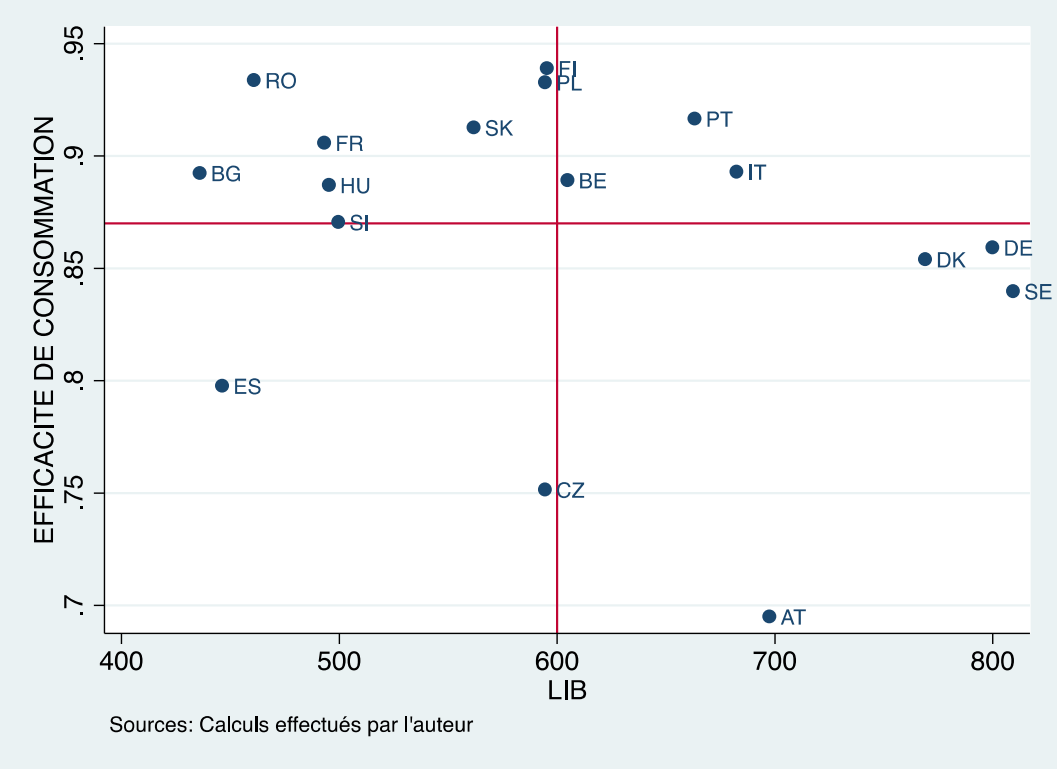


Figure 4-11 : **Nuage de point entre EC et LIB**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

L'analyse descriptive de la potentielle corrélation entre l'indice de la dynamique concurrentielle et les indicateurs de performance montre qu'il est difficile de prédire une relation stable d'abord, entre le niveau d'efficacité technique et la dynamique concurrentielle, ensuite, entre l'indice de la dynamique concurrentielle et l'efficacité commerciale et enfin entre l'efficacité productive et la dynamique concurrentielle.

D'un point de vue descriptif, nous avons également analysé la corrélation potentielle qui existe entre le degré d'ouverture à la concurrence (LIB) et les indicateurs de performance. Les nuages de points sont représentés dans les figures 4-10, 4-11, 4-12 et 4-13. En examinant ces figures, nous sommes arrivés aux mêmes conclusions que celles obtenues lors de l'analyse de la corrélation qui pourrait exister entre la dynamique concurrentielle (COM) et les indicateurs de performance.

Cette analyse descriptive nous a permis de constater qu'il existe plusieurs facteurs qui pourraient expliquer les niveaux de performance observés. Mais il est difficile de quantifier les effets de ces variables sur les performances. De même, les données montrent qu'il est difficile de prévoir d'une part, une corrélation stable entre le degré d'ouverture à la concurrence et les indicateurs de performance et d'autre part, entre les indicateurs de performance et la dynamique concurrentielle. En effet, dans notre échantillon, on retrouve les quatre catégories de pays : ceux qui ont de faibles performances associées à un faible degré de libéralisation, ceux qui ont de faibles performances mais avec un fort indice de libéralisation, les pays qui ont des performances élevées avec une faible libéralisation et enfin ceux qui ont de forte performance couplée à une forte libéralisation.

Pour établir la relation causale qui existe entre les indicateurs de performance et leurs déterminants respectifs, nous avons utilisé un modèle à variables dépendantes limitées (le TOBIT). Les résultats de ces estimations seront présentés dans la section suivante.

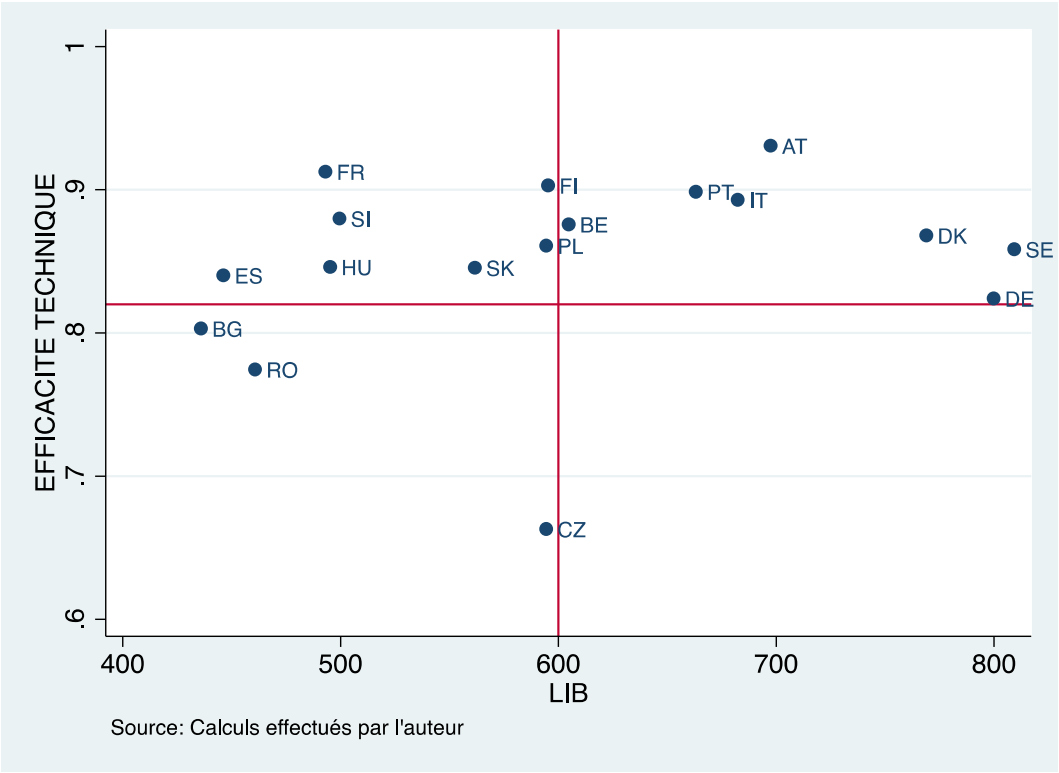


Figure 4-12 **: Nuage de point entre ET et LIB**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

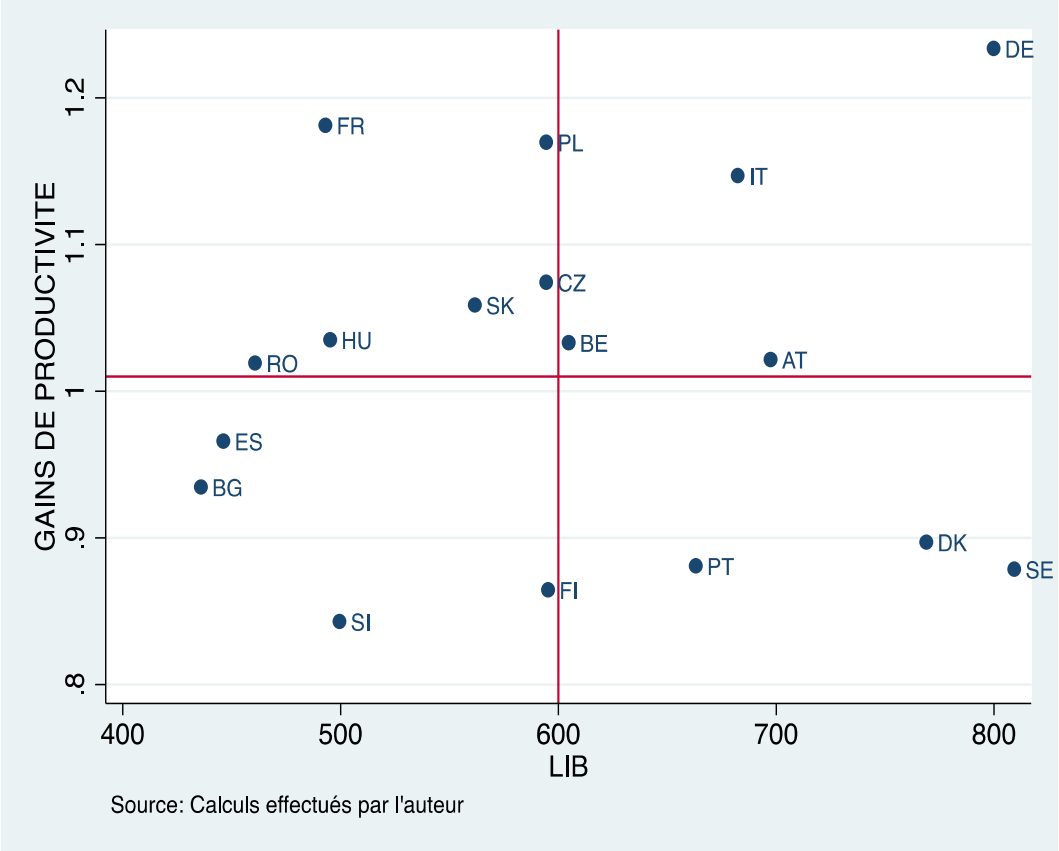


Figure 4-13 **: nuage de point entre la variation de la productivité totale et LIB**
Source : auteur à partir des données EUROSTAT, UIC et COMPAGNIE

4.4 Analyse et interprétation des résultats

Rappelons que pour cette analyse, nous avons à notre disposition un panel de 17 pays observés entre 1997 et 2011. Les indicateurs de performance sont ceux calculés au chapitre 3. Nous avons opté pour cette période puisque les variables COM et LIB ont été publiées uniquement pour les années 2002, 2004, 2007 et 2011. Nous avons estimé les valeurs manquantes entre 2001 et 2011 par les moyennes arithmétiques. Concrètement pour les années 2001 et 2003 non publiées, les variables COM et LIB ont été estimées par la moyenne arithmétique des valeurs publiées en 2002 et 2004. De même pour les années 2005, 2006, les données manquantes ont été estimées par la moyenne arithmétique des valeurs observées en 2004 et 2007. Enfin pour les années 2008, 2009 et 2010, nous avons estimé les données manquantes par la moyenne arithmétique des valeurs observées en 2007 et 2011.

Pour estimer les principaux déterminants des performances des compagnies ferroviaires, nous avons utilisé un modèle à variables dépendantes limitées, plus précisément un modèle TOBIT. Nous avons tenu compte de la dimension temporelle et individuelle, ce qui nous a permis d'estimer un modèle TOBIT à effets aléatoires. Les résultats de ces estimations sont rapportés dans les tableaux 4-5 et 4-6

4.4.1 Validation des modèles

Avant de présenter de façon détaillée nos résultats, il est important d'analyser les critères de validation des modèles estimés. Pour ce faire nous allons répondre à la question suivante : Le modèle Tobit est-il meilleur que celui des moindres carrés ordinaires ? La réponse à cette question passe par la significativité du paramètre σ^2, qui représente la variance du modèle.

Pour l'ensemble des modèles estimés, les résultats du test de Student montrent qu'au seuil de 1 %, l'écart type du modèle est statistiquement différent de zéro, ce qui nous amène à constater que le modèle Tobit est meilleur que celui des moindres carrés ordinaires.

Les résultats du test du ratio de vraisemblance montrent qu'il existe au moins une variable qui explique le niveau de performance. Pour ce test, l'hypothèse nulle peut être formulée comme suit : Ho : il n'existe aucune variable qui explique le niveau de performance. Comme le montrent les résultats, la probabilité associée à ce test est égale à 0,000 pour tous

les modèles, ce qui nous amène à rejeter l'hypothèse nulle et à affirmer que le modèle avec variables explicatives est meilleur que celui sans variables explicatives.

Pour détecter la multi colinéarité, nous avons effectué un test de la variance du facteur d'inflation plus connue sous l'anglicisme *Variance Inflation Factor*. Les résultats de ces tests sont rapportés dans les tableaux 4-4 et 4-5. Dans ces tableaux, la tolérance est donnée par l'inverse de la variance du facteur d'inflation (TOLERANCE=1/VIF). Cette variable doit être supérieure à 0.1 pour que nous puissions conclure à l'absence des problèmes de multi-colinéarité.

Les résultats des tests des facteurs d'inflation nous permettent de constater que la multi-colinéarité n'est pas un problème parce qu'il existe une faible corrélation entre les variables. Comme nous avons estimé un modèle à variables censurées, l'hétéroscédasticité n'est donc pas un problème à contrôler.

Tableau 4-4 : **Résultats du test de la variance du facteur d'inflation (COM)**

VARIABLES	VIF	RACINE CARRE DE LA VIF	TOLERANCE = 1/VIF	R CARRE
COM	2,30	1,52	0,44	0,56
TRF	2,24	1,50	0,45	0,55
TRV	5,37	2,32	0,19	0,81
GDP	2,38	1,54	0,42	0,58
DSP	3,43	1,85	0,29	0,71
SUPERF	3,19	1,79	0,31	0,69
TDEN	5,43	2,33	0,18	0,82
TSTRUCT	2,75	1,66	0,36	0,64
PLE	5,78	2,40	0,17	0,83
PMaF	7,39	2,72	0,14	0,86
PMaV	3,64	1,91	0,27	0,73
PMF	5,46	2,34	0,18	0,82
PMV	2,29	1,51	0,44	0,56
TREND	1,97	1,40	0,51	0,49
MOYENNE VIF	3,83			

Tableau 4-5 **: Résultats du test de la variance du facteur d'inflation (LIB)**

VARIABLES	VIF	RACINE CARRE DE LA VIF	TOLERANCE = 1/VIF	R CARRE
LIB	2,65	1,63	0,38	0,62
TRF	2,20	1,48	0,45	0,55
TRV	4,85	2,20	0,21	0,79
GDP	2,63	1,62	0,38	0,62
DSP	3,45	1,86	0,29	0,71
SUPERF	5,84	2,42	0,17	0,83
TDEN	3,10	1,76	0,32	0,68
TSTRUCT	5,40	2,32	0,19	0,81
PLE	2,70	1,64	0,37	0,63
PMaF	7,57	2,75	0,13	0,87
PMaV	3,54	1,88	0,28	0,72
PMF	5,72	2,39	0,17	0,83
PMV	2,26	1,50	0,44	0,56
TREND	2,31	1,52	0,43	0,57
MOYENNE VIF	3,87			

4.4.2 Analyse des déterminants des performances : les variables de contrôle.

Rappelons que dans les tableaux 4-6 et 4-7, les modèles 1 et 5 estiment l'impact respectif de la dynamique concurrentielle (COM) et du degré d'ouverture à la concurrence (LIB) sur l'efficacité productive des chemins de fer, tandis que les modèles 2 et 6 testent l'impact respectif des variables COM et LIB sur l'efficacité commerciale. De leur côté les modèles 3 et 7 (respectivement 4 et 8) estiment l'impact respectif des variables COM et LIB sur l'efficacité technique (respectivement sur la variation de la productivité totale des facteurs).

Pour les modèles 1, 2, 3 5, 6 et 7 les résultats du test de Student montrent que le coefficient associé à la variable **nombre de tonnes par train** (TRF) est statistiquement différent de zéro. Le signe associé à ce coefficient montre que le nombre de tonnes par train réduit l'efficacité productive. Par contre il augmente l'efficacité commerciale et l'efficacité technique. Pour quantifier ces variations, nous avons calculé les effets marginaux, et les résultats ont été rapportés dans l'annexe 4-1 et l'annexe 4-2. Les effets marginaux sont déterminés par les dérivées partielles de la fonction à estimer par rapport à chaque variable explicative. Ils sont calculés en prenant pour référence la valeur moyenne de chaque facteur

explicatif. Ainsi toute augmentation de 1 % sera interprétée comme une augmentation par rapport à la valeur moyenne du facteur explicatif.

Dans ces tableaux, on peut constater qu'une augmentation de 1 % du nombre de tonnes par train entraîne une réduction de 0,012 % du score d'efficacité productive, une augmentation de 0,04 % de l'efficacité commerciale et enfin une augmentation de 0,03 % du score d'efficacité technique. Intuitivement ce résultat semble logique puisque l'efficacité commerciale traduit la relation qui existe entre la compagnie ferroviaire et ses principaux clients. Par contre pour les autres modèles, les résultats du test de Student montrent que le nombre de tonnes par train n'a pas d'effet significatif sur la variation de la productivité totale des facteurs.

Le coefficient associé à la variable **nombre de voyageurs par train** (TRV*),* est positif et significatif dans les modèles 2, 3, 4, 6, 7 et 8. Ce résultat montre qu'une augmentation du nombre de voyageurs par train permet d'accroitre le niveau d'efficacité commerciale, d'efficacité technique et la variation de la productivité totale des facteurs. Par contre elle n'a pas d'effet sur l'efficacité productive. Plus spécifiquement, une augmentation de 1 % du nombre de voyageurs par train entraîne une augmentation de 0,2 % du score d'efficacité commerciale, une augmentation de 0,2 % du score d'efficacité de technique et enfin une augmentation de 0,1 % des gains de productivité. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par Pedro et al. (2008). L'analyse du nombre de voyageurs par train et celle du nombre de tonnes par train nous permettent de constater qu'il existe une corrélation positive entre le taux d'utilisation de la capacité du matériel roulant et la performance des chemins de fer.

Contrairement à Driessen et al.(2006) qui montrent que le **PIB par habitant** (GDP) n'a pas d'impact significatif sur l'efficacité productive, nos résultats révèlent que cette variable a un impact positif et significatif sur l'efficacité productive et sur l'efficacité technique, par contre il a un effet négatif sur la variation de la productivité totale des facteurs. Les valeurs des effets marginaux montrent qu'une augmentation de 1 % du PIB par habitant entraîne une augmentation de 0.0001 % du niveau d'efficacité productive, une augmentation de 0.0003% du niveau d'efficacité technique et enfin une réduction de 0.0006 % des gains de productivité. La corrélation négative observée entre le PIB par habitant et les gains de productivité peut se justifier par le fait que plus les individus sont riches et plus ils vont privilégier d'autres modes de déplacement au détriment du train.

L'analyse des variables de contrôle nous permet également de constater que le taux d'utilisation de l'infrastructure, représenté par la variable **densité des trains** (TDEN) a d'une

part un effet négatif et significatif sur l'efficacité commerciale et d'autre part, elle a un effet positif et significatif sur les gains de productivité. Même si les résultats montrent que le taux d'utilisation de l'infrastructure n'a pas d'impact significatif sur l'efficacité productive et sur l'efficacité technique, le signe du paramètre associé à cette variable nous permet de constater qu'elle joue un rôle important dans la détermination de l'efficacité technique. Les gains de productivité étant essentiels pour une compagnie ferroviaire, on peut ainsi dire que le taux d'utilisation de l'infrastructure est un facteur important pour l'amélioration des performances des compagnies ferroviaires.

Le coefficient associé à la variable représentant la **structure du trafic** (TSTRUC) est négatif et significatif pour tous les modèles. Rappelons que cette variable est définie par le rapport entre le nombre de trains-km de voyageur rapporté au trafic total exprimé en trains-km. Le signe négatif du coefficient associé à cette variable nous permet de constater que les compagnies ferroviaires spécialisées dans l'activité de transport de voyageurs sont celles qui ont un faible niveau de performance. Autrement dit, plus la part du trafic de voyageurs est importante, moins la compagnie est performante d'un point de vu d'abord de l'efficacité productive, ensuite de l'efficacité commerciale et enfin de l'efficacité technique. Ce résultat peut se justifier par le fait que la production d'un voyageur-km coûte plus cher à la compagnie que la production d'une tonne-km (Driessen et al. 2006)].

Le coefficient associé à la variable **part de marché de l'activité fret (PMaF)** est négatif et significatif dans les modèles 1, 3, 5 et 7, tandis qu'il est positif et significatif dans les modèles 4 et 8. Ces résultats montrent que la concurrence intermodale dans la branche transport de marchandises réduit l'efficacité productive et l'efficacité technique. Par contre la concurrence intermodale accroît la productivité totale des facteurs. Pour l'activité transport de voyageurs, les résultats sont assez différents. Le coefficient associé à la variable **part de marché de l'activité transport de voyageurs (PMaV)** est positif et significatif dans les modèles 1, 3, 5 et 7, par contre il est négatif dans les modèles 2 et 6. Le signe associé à cette variable nous permet de constater que la concurrence intermodale dans la branche transport de voyageurs permet d'accroitre l'efficacité productive et l'efficacité technique, par contre elle réduit l'efficacité commerciale.

Rappelons que l'évolution de la part de marché du transport ferroviaire dépend de deux facteurs qui sont le volume transporté et la distance parcourue. Le signe négatif des coefficients associés aux variables parts de marché peut donc s'expliquer par l'effet distance.

Enfin les résultats montrent également que la distance moyenne parcourue par une tonne de marchandises joue un rôle important dans la détermination du niveau des performances. En effet le coefficient associé à la variable **parcours moyen d'une tonne de marchandises** (PMF) est positif et significatif uniquement dans les modèles 3 et 7, ce qui montre qu'il existe une corrélation positive entre la distance moyenne parcourue par une tonne de marchandises et le niveau d'efficacité technique. L'analyse des effets marginaux montre qu'une augmentation de 1 % de la distance moyenne parcourue par une tonne de marchandises entraîne une augmentation de 0,05 % du niveau de l'efficacité technique. Ce résultat suggère que les compagnies ferroviaires doivent privilégier les longues distances pour le trafic de marchandises. L'analyse de la variable **distance moyenne parcourue par un voyageur** (PMV) donne un résultat assez différent. En effet, le coefficient associé à cette variable est négatif et significatif dans les 1 2 3 5 6 et 7, ce qui montre que la distance moyenne parcourue par un voyageur a un effet négatif sur le score d'efficacité productive, sur le score d'efficacité commerciale et le score d'efficacité technique. Ce résultat suggère que pour l'activité transport de voyageurs, les compagnies peuvent être performantes en opérant sur les courtes distances.

L'analyse des variables de contrôle montre qu'il existe plusieurs facteurs qui peuvent expliquer le niveau de performance des compagnies ferroviaires. Ainsi, on peut donc affirmer que le degré d'inefficacité des compagnies ferroviaires ne s'explique pas seulement par les erreurs de gestion imputables aux dirigeants ou par les structures productives non adaptées, il peut donc être influencé par l'environnement structurel propre à chaque pays.

4.4.3 Impact de la dynamique concurrentielle sur les performances des chemins de fer.

Rappelons que la variable COM utilise les données concernant le partage du marché et l'évolution du trafic pour évaluer la dynamique concurrentielle au sein des Etats membres. Cette variable peut également être considérée comme un indicateur de mesure de la concurrence intra-modale.

Les résultats montrent que pour les modèles 2, 3 et 4, le coefficient associé à la variable COM est positif et significatif. On peut donc penser que la dynamique de la concurrence intermodale permet d'accroitre le score d'efficacité commerciale, le score d'efficacité technique et les gains de productivité. Les valeurs des effets marginaux montrent qu'une augmentation de 1 % de la dynamique concurrentielle entraîne une amélioration de

0,04 % du score d'efficacité commerciale, de 0,03 % du score d'efficacité technique et de 0,02 % des gains de productivité. Ce résultat est conforme avec la théorie économique qui stipule que l'ouverture à la concurrence entraîne une amélioration des performances des compagnies.

Notons que ce résultat ne tient pas compte du contrôle du degré de libéralisation, puisque la variable LIB n'a pas été introduite comme variable de contrôle dans les modèles.

4.4.4 Impact du degré d'ouverture à la concurrence sur les performances des chemins de fer.

Mesurée par l'indice LIB, l'intensité des barrières à l'entrée est évaluée à la fois sur les obstacles légaux et sur les obstacles opérationnels.

D'après le tableau 4-7, le coefficient associé à la variable LIB est positif et significatif uniquement pour les modèles 6, 7 et 8. Le signe du coefficient associé à cette variable, nous permet d'affirmer que le degré d'ouverture à la concurrence a un impact positif d'abord, sur le score d'efficacité commerciale, un impact positif ensuite, sur le score d'efficacité technique et enfin un impact positif sur les gains de productivité.

Pour quantifier ces impacts, nous avons calculé les effets marginaux. Les résultats de ces calculs nous amènent à conclure qu'une augmentation de 1 % du degré d'ouverture à la concurrence entraîne un augmentation de 0,005 % du niveau d'efficacité commerciale, de 0,012 % du niveau d'efficacité technique et de 0,017 % des gains de productivité.

Ce résultat est donc en concordance avec la théorie économique qui dit qu'une ouverture à la concurrence pourrait avoir des effets positifs sur les performances des entreprises engagées sur le marché. Il est important de noter que ce résultat ne tient pas compte du contrôle de la dynamique concurrentielle intra-modale qui est représentée par la variable COM.

Afin de contrôler l'effet de la libéralisation dans l'analyse de l'impact de la dynamique concurrentielle sur les performances et réciproquement, nous avons introduit dans un même modèle les variables COM et LIB. Les résultats de ces estimations sont présentés dans le tableau 4-9.

Le premier diagnostic est celui de la multi-colinéarité. Pour ce faire nous avons réalisé en amont le test de la variance du facteur d'inflation afin d'identifier le degré de corrélation qui existe entre ces variables ou encore le facteur à l'origine de la multi-colinéarité. Les

résultats de ce test sont rapportés dans le tableau 4-8. Pour comprendre les résultats contenus dans ce tableau, il est important de noter qu'un facteur est source d'inflation de la variance si la valeur de sa tolérance est inférieure à 0,1 (ou si la variance de ce facteur est supérieure à 10). Dans ce cas, la multi-colinéarité est détectée et mérite d'être corrigée.

D'après le tableau 4-8, la tolérance (1/VIF) est supérieure à 0,1 pour toutes les variables. Ce résultat indique la présence d'une faible multi-colinéarité qui n'aura pas un effet significatif sur les résultats.

Le test du ratio de vraisemblance montre que le modèle avec variables explicatives est meilleur que celui sans variables explicatives. Ce résultat suggère qu'il existe au moins une variable qui explique le niveau des performances. Dans le même ordre d'idées, l'on peut constater que quel que soit le modèle, l'écart type σ est significatif. Ainsi le modèle Tobit est meilleur que celui des moindres carrées ordinaires.

D'après le tableau 4-9, le coefficient associé à la variable COM n'est significatif que dans les modèles 10 et 12. Le signe du coefficient associé à cette variable nous permet d'affirmer que la dynamique concurrentielle intra-modale a un effet négatif sur l'efficacité commerciale tandis qu'elle a un effet positif sur les gains de productivité. Dans le même ordre d'idées, l'analyse du coefficient associé à la variable LIB montre que le degré d'ouverture à la concurrence à un effet positif sur l'efficacité commerciale, par contre il n'a pas d'effet sur les autres variables.

Cette seconde analyse remet ainsi en cause les résultats obtenus avec les modèles 1 à 8. Il nous paraît donc difficile de juger des effets réels de la dynamique concurrentielle intra modale et du degré d'ouverture à la concurrence sur les performances des chemins de fer.

Tableau 4-6 : Modèles TOBIT (COM)

VARIABLES	MODELE 1	MODELE 2	MODELE 3	MODELE 4
	EP	EC	ET	PTF
COM	3,95E-05	5,14e-05*	0,000133***	0,000165**
	(3,20E-05)	(3,09E-05)	(4,70E-05)	(6,79E-05)
TRF	-1,27E-04	0,000414***	0,000328***	2,91E-05
	(4,89E-05)	(4,87E-05)	(7,17E-05)	(1,04E-04)
TRV	-2,57E-04	0,00182***	0,00261***	0,00105**
	(2,24E-04)	(2,18E-04)	(3,29E-04)	(4,76E-04)
GDP	1,20e-06**	-1,76E-07	2,58e-06***	-5,39e-06***
	(4,77E-07)	(4,65E-07)	(6,99E-07)	(1,01E-06)
DSP	8,44E-05	1,19E-04	7,52E-05	0,00125***
	(8,97E-05)	(8,81E-05)	(1,31E-04)	(1,90E-04)
TDEN	-4,27E-07	-2,82e-06**	7,10E-07	7,84e-06***
	(1,23E-06)	(1,20E-06)	(1,81E-06)	(2,64E-06)
TSRUC	-0,245***	-0,162*	-1,416***	-1,80E-01
	(8,87E-02)	(8,60E-02)	(1,30E-01)	(1,88E-01)
SUPERF	2,96E-08	-7,93e-08*	-4,39e-07***	4,34e-07***
	(4,81E-08)	(4,65E-08)	(7,04E-08)	(1,02E-07)
PLE	-6,24E-03	-0,150***	-3,50E-02	-0,192**
	(3,68E-02)	(3,58E-02)	(5,39E-02)	(7,82E-02)
PMaF	-0,247**	1,84E-02	-0,679***	0,417**
	(9,84E-02)	(9,51E-02)	(1,44E-01)	(2,09E-01)
PMaV	0,564**	-1,187***	1,618***	4,47E-01
	(2,65E-01)	(2,57E-01)	(3,88E-01)	(5,63E-01)
PMF	-1,27E-05	-6,86E-05	0,000481***	-5,92E-05
	(9,46E-05)	(9,14E-05)	(1,39E-04)	(2,01E-04)
PMV	-0,000808***	-0,000592**	-0,00202***	-2,39E-04
	(3,00E-04)	(2,94E-04)	(4,40E-04)	(6,38E-04)
TREND	-9,00E-04	-0,00575***	-0,00678***	-3,74E-03
	(1,62E-03)	(1,57E-03)	(2,38E-03)	(3,45E-03)
CONSTANTE	1,190***	0,875***	1,543***	0,779***
	(6,42E-02)	(6,25E-02)	(9,42E-02)	(1,36E-01)
σ_ε	0,0500***	0,0483***	0,0732***	0,106***
	(2,61E-03)	(2,52E-03)	(3,81E-03)	(5,53E-03)
Observations non censurées	185	185	185	185
Cesnsure a droite	1	1	1	1
Censure à gauche	1	1	1	1
Prob>Ch2	0,000	0,000	0,000	0,000
Wald Chi2 (14)	66,3	183,84	153,61	136,19
Log -vraisemblance	288,552	296,018	218,977	149,532

Note: Ecarts types entre parenthéses

*** significatif à 1 %, ** significatif à 5%, * significatif à 10%

Tableau 4-7 : Modèle TOBIT (LIB)

VARIABLES	MODELE 5	MODELE 6	MODELE 7	MODELE 8
	EP	EC	ET	PTF
LIB	3,78E-05	4,74e-05*	0,000124***	0,000168***
	(2,76E-05)	(2,67E-05)	(4,03E-05)	(5,82E-05)
TRF	-0,000121**	0,000423***	0,000348***	5,38E-05
	(4,84E-05)	(4,83E-05)	(7,07E-05)	(1,02E-04)
TRV	-0,000291	0,00177***	0,00249***	0,000923**
	(2,13E-04)	(2,07E-04)	(3,11E-04)	(4,50E-04)
GDP	1,05e-06**	-3,71E-07	2,08e-06***	-6,09e-06***
	(5,01E-07)	(4,89E-07)	(7,32E-07)	(1,06E-06)
DSP	8,96E-05	0,000124	9,15E-05	0,00127***
	(8,99E-05)	(8,83E-05)	(1,31E-04)	(1,90E-04)
TDEN	-3,43E-07	-2,69e-06**	1,01E-06	8,11e-06***
	(1,22E-06)	(1,18E-06)	(1,77E-06)	(2,58E-06)
TSRUC	-0,236***	-0,150*	-1,386***	-0,143
	(8,84E-02)	(8,57E-02)	(1,29E-01)	(1,87E-01)
SUPERF	2,68E-08	-8,24e-08*	-4,47e-07***	4,18e-07***
	(4,83E-08)	(4,67E-08)	(7,05E-08)	(1,02E-07)
PLE	-0,00462	-0,147***	-0,0289	-0,187**
	(3,65E-02)	(3,55E-02)	(5,32E-02)	(7,70E-02)
PMaF	-0,234**	0,034	-0,637***	0,478**
	(9,95E-02)	(9,62E-02)	(1,45E-01)	(2,10E-01)
PMaV	0,615**	-1,121***	1,792***	0,663
	(2,61E-01)	(2,53E-01)	(3,81E-01)	(5,51E-01)
PMF	1,88E-05	-2,91E-05	0,000584***	8,05E-05
	(9,67E-05)	(9,35E-05)	(1,41E-04)	(2,04E-04)
PMV	-0,000790***	-0,000569*	-0,00196***	-0,000168
	(2,98E-04)	(2,92E-04)	(4,36E-04)	(6,30E-04)
TREND	-0,00139	-0,00633***	-0,00830***	-0,0061
	(1,76E-03)	(1,70E-03)	(2,56E-03)	(3,71E-03)
CONSTANTE	1,165***	0,843***	1,460***	0,671***
	(6,46E-02)	(6,29E-02)	(9,44E-02)	(1,37E-01)
σ_ε	0,0500***	0,0483***	0,0729***	0,105***
	(2,61E-03)	(2,51E-03)	(3,80E-03)	(5,50E-03)
Observations	185	185	185	185
Cesnsure a droite	1	1	1	1
Censure à gauche	1	1	1	1
Prob>Ch2	0,000	0,000	0,000	0,000
Wald Chi2 (14)	66,66	184,23	154,97	138,49
Log -vraisemblance	288,730	296,215	219,656	150,679

Note: Ecarts types entre parenthéses

*** significatif à 1 %, ** significatif à 5%, * significatif à 10%

Tableau 4-8 : Résultats du test de la variance du facteur d'inflation (LIB et COM)

VARIABLES	VIF	RACINE CARRE DE LA VIF	TOLERANCE = 1/VIF	R CARRE
COM	4,37	2,09	0,2289	0,7711
LIB	4,77	2,18	0,2098	0,7902
TRF	1,56	1,25	0,6424	0,3576
TRV	4,15	2,04	0,2407	0,7593
GDP	2,69	1,64	0,3714	0,6286
DSP	2,61	1,62	0,383	0,617
TDEN	2,91	1,71	0,3438	0,6562
TSTRUC	2,81	1,68	0,3553	0,6447
SUPERF	2,99	1,73	0,335	0,665
PLE	2,12	1,46	0,471	0,529
PMV	2,17	1,47	0,461	0,539
TREND	2,13	1,46	0,4687	0,5313
MOYENNE	2,94			

Tableau 4-9 : Modèle Tobit avec contrôle des variables LIB et COM

VARIABLES	MODELE 9	MODELE 10	MODELE 11	MODELE 12
	EP	EC	ET	PTF
COM	-5,82E-06	-9,20e-05*	3,65E-05	0,000199**
	(4,50E-05)	(4,72E-05)	(7,29E-05)	(9,63E-05)
LIB	4,85E-05	0,000115***	9,46E-05	8,28E-07
	(3,82E-05)	(4,00E-05)	(6,19E-05)	(8,18E-05)
TRF	-0,000196***	0,000346***	4,49E-05	0,000227**
	(4,15E-05)	(4,39E-05)	(6,72E-05)	(8,88E-05)
TRV	-0,000318*	0,00132***	0,00248***	0,000854**
	(1,74E-04)	(1,82E-04)	(2,83E-04)	(3,74E-04)
GDP	1,16e-06**	-1,13E-07	2,52e-06***	-5,76e-06***
	(5,23E-07)	(5,48E-07)	(8,47E-07)	(1,12E-06)
DSP	0,000137*	0,000167*	5,62E-05	0,00109***
	(8,15E-05)	(8,58E-05)	(1,32E-04)	(1,75E-04)
TDEN	1,13E-07	-3,86e-06***	2,90E-06	1,03e-05***
	(1,21E-06)	(1,27E-06)	(1,96E-06)	(2,61E-06)
TSRUC	-0,0514	-0,164**	-0,740***	-0,390***
	(6,39E-02)	(6,73E-02)	(1,04E-01)	(1,37E-01)
SUPERF	3,33E-08	-8,68e-08**	-2,52e-07***	4,27e-07***
	(3,59E-08)	(3,75E-08)	(5,82E-08)	(7,73E-08)
PLE	-0,0435	-0,113***	-0,103*	-0,158**
	(3,36E-02)	(3,53E-02)	(5,45E-02)	(7,20E-02)
T	-0,000673	-0,00563***	-0,00437	-0,00882**
	(1,76E-03)	(1,84E-03)	(2,85E-03)	(3,77E-03)
CONSTANTE	1,015***	0,797***	1,095***	0,979***
	(4,98E-02)	(5,29E-02)	(8,08E-02)	(1,07E-01)
σ_ε	0,0520***	0,0544***	0,0843***	0,111***
	(2,71E-03)	(2,83E-03)	(4,39E-03)	(5,82E-03)
Observations	185	185	185	185
Cesnsure a droite	1	1	1	1
Censure à gauche	1	1	1	1
Prob>Ch2	0,000	0,000	0,000	0,000
Wald Chi2 (11)	51,58	139,77	100,61	117,8
Log -vraisemblance	281,192	273,984	192,480	140,334

Note: Ecarts types entre parenthéses

*** significatif à 1 %, ** significatif à 5%, * significatif à 10%

Conclusion et implications pour les politiques publiques.

Le présent chapitre avait pour objectif d'analyser l'impact de la dynamique concurrentielle intra-modale et du degré d'ouverture à la concurrence sur les performances des chemins de fer. Quatre indicateurs ont été utilisés pour évaluer la performance : l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité technique et la variation de la productivité totale des facteurs (gains de productivité).

Rappelons que l'efficacité productive mesure la capacité des chemins de fer à transformer leurs inputs en outputs (trains-km) tandis que l'efficacité commerciale mesure la capacité à transformer les trains-km (voyageurs et fret) respectivement en voyageurs-km et en tonnes-km. Enfin l'efficacité technique mesure la capacité à transformer les inputs directement en voyageurs-km et en tonnes-km.

Comme indicateurs de mesure de la dynamique concurrentielle intra-modale et du degré d'ouverture à la concurrence, nous avons respectivement utilisé les variables COM et LIB publiées par IBM et Kirchner en 2004, 2007, et 2011. Mesurée par l'indice LIB, l'intensité des barrières à l'entrée est évaluée à la fois sur les obstacles légaux et sur les obstacles opérationnels. La variable COM mesure la dynamique concurrentielle principalement à partir des parts de marché des nouveaux entrants, du nombre d'opérateurs externes à l'opérateur historique et à partir de l'évolution de la part modale du fer. Ces variables sont assez importantes puisqu'elles permettent de quantifier le degré de libéralisation des activités ferroviaires.

Pour évaluer l'impact de la libéralisation des activités ferroviaires sur les performances des chemins de fer, nous avons utilisé la technique du maximum de vraisemblance pour estimer un modèle Tobit car il fait partie de la classe des modèles censurés qui sont généralement utilisés pour décrire une relation entre une variable dépendante censurée et une ou plusieurs variables indépendantes. Nous avons choisi ce modèle parce que les valeurs des indicateurs de mesure des performances sont bornées dans l'intervalle 0 et 1.

Pour chaque indicateur de mesure de performance, trois modèles Tobit ont été estimés. Dans le premier, la variable COM a été introduite comme variable explicative tandis que dans le second, c'est la variable LIB qui a été introduite comme variable explicative. Enfin dans le troisième modèle, les deux variables COM et LIB ont été introduites comme variables

explicatives. Dans chaque modèle, nous avons utilisé la statistique du test de Student pour tester l'hypothèse selon laquelle la variable COM (respectivement la variable LIB) a un effet sur l'indicateur de mesure de la performance.

Cette méthodologie a été appliquée à un panel de 17 compagnies observées entre 2001 et 2011, période retenue parce que les variables à tester (COM et LIB) n'ont été publiées qu'en 2002, 2004, 2007 et 2011. Les données manquantes ont été remplacées par les moyennes arithmétiques des observations publiées.

L'analyse des variables de contrôle montre que le degré d'inefficacité des compagnies ferroviaires ne s'explique pas seulement par les erreurs de gestion imputables aux dirigeants ou par les structures productives non adaptées, il peut également être influencé par l'environnement structurel propre à chaque pays.

Les résultats montrent que le taux d'utilisation des capacités représenté par les variables TRV (nombre de voyageurs par train) et TRF (nombre de tonnes par train) a un effet positif à la fois sur l'efficacité commerciale et sur l'efficacité technique. Dans le même ordre d'idées, l'on peut constater que le PIB a un effet positif à la fois sur l'efficacité productive et sur l'efficacité technique, par contre il influe négativement les gains de productivité. Comme autres déterminants de la performance citons la densité du trafic qui influe positivement sur les gains de productivité et la structure du trafic qui montre qu'une compagnie qui se spécialise uniquement dans l'activité transport de voyageurs est moins performante qu'une entreprise qui se spécialise dans l'activité transport de marchandises. Les indicateurs de part de marché nous permettent de constater que la concurrence intermodale dans la branche transport de voyageurs à un effet positif sur les indicateurs de performance.

Dans notre démarche nous avons dans une première approche, estimé l'effet de la dynamique concurrentielle intra-modale sur les performances. Les résultats obtenus nous ont permis de constater que la dynamique de la concurrence a un effet positif sur l'efficacité commerciale, sur l'efficacité technique et enfin sur les gains de productivité. Par contre elle n'a pas d'effet sur l'efficacité productive.

Dans une deuxième approche, nous avons évalué uniquement les effets d'une ouverture à la concurrence sur les performances des chemins de fer. Grâce aux résultats obtenus, nous pouvons dire que le degré d'ouverture à la concurrence des activités ferroviaires a un impact positif sur le score d'efficacité commerciale, un impact positif sur le score d'efficacité technique et enfin un impact positif sur les gains de productivité.

Enfin dans une troisième approche, nous avons introduit dans un seul et unique modèle les variables COM et LIB. Après avoir contrôlé de problème de la multi-colinéarité, les résultats ont montré que la dynamique concurrentielle intra-modale à un effet positif uniquement sur les gains de productivité tandis que le degré d'ouverture à la concurrence a un effet positif uniquement sur l'efficacité commerciale. C'est donc l'ensemble de ces résultats qui nous amène à douter des effets réels de la libéralisation sur les performances des compagnies.

Va-t-on réellement vers un espace ferroviaire intégré ? Nos résultats montrent que cet objectif est loin d'être réalisable puisqu'il existe une faible vitesse de convergence des performances et de plus, les systèmes ferroviaires sont assez différents. Ainsi, Desmaris (2014) montre qu'en Suisse, davantage de performance est possible sans la concurrence. Ces progrès sont redevables de la nature de la gouvernance publique et de son impact sur le jeu des acteurs. Dans le cadre d'une décentralisation des commandes publiques, les pouvoirs publics ont imposé aux opérateurs des objectifs ambitieux associés à de sévères contraintes financières. Ce nouveau dispositif a donc permis aux entreprises ferroviaires de réaliser des gains de productivité significatifs grâce à de profondes innovations managériales et techniques.

Nos résultats interpellent les ambitions de la Commission européenne visant à la création d'un espace ferroviaire européen. On ne peut pas dire que l'espace ferroviaire européen est homogène puisque les contextes et les pratiques différent largement d'un pays à un autre. De même on ne peut véritablement pas affirmer que la libéralisation ferroviaire peut accroître les performances des chemins de fer, puisque les résultats montrent que les pays les plus avancés en matière de libéralisation ne sont pas forcément les plus performants.

Puisque la création d'un espace ferroviaire européen semble difficile, voire impossible, cette étude recommande que la transposition en droit national des directives de la commission européenne se fasse selon les caractéristiques économiques propres à chaque Etat, le rôle de ces derniers demeurant crucial dans la mise en place d'un environnement plus ou moins favorable à la performance ferroviaire.

Conclusion générale

Cette thèse a pour objectif d'évaluer les performances des chemins de fer et d'analyser l'impact de l'ouverture à la concurrence et de la dynamique concurrentielle sur les performances des systèmes ferroviaires européens. Notre recherche utilise des outils majoritairement empruntés à l'économétrie et à l'analyse financière. Quatre indicateurs ont été retenus pour évaluer les performances des chemins de fer, l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité technique et la productivité totale des facteurs. Cette conclusion sera structurée comme suit : synthèse des principaux résultats (1), apport de la thèse (2) et limites et extensions de la thèse (3).

1. Synthèse des principaux résultats

Nos questions initiales ont-elles trouvé des éléments de réponse et nos hypothèses de travail ont-elles été vérifiées au long des quatre chapitres de la thèse ?

Dans le premier chapitre, nous avons utilisé les outils de l'analyse financière plus précisément l'analyse comparative pour évaluer les performances d'un panel de quatre compagnies ferroviaires européennes, la DB en Allemagne, la SNCF en France, la RENFE en Espagne et les FS en Italie, observées entre 1990 et 2012. Notre objectif ici est double, dresser un bilan de la situation actuelle et révéler la trajectoire des entreprises ferroviaires européennes majeures sur une période débutant un peu avant les réformes ferroviaires initiées par la Commission européenne. L'analyse comparative proposée dans ce chapitre repose essentiellement sur le calcul des indicateurs de mesure partiels de productivité. Les indicateurs retenus nous ont permis d'évaluer quatre domaines de performance : la performance productive, la performance commerciale, la performance économique et la performance financière.

Cette étude montre que l'offre ferroviaire totale dissimule un fort contraste entre l'évolution des voyageurs et du fret : + 33,5 % pour la première, contre - 37 % pour la seconde. La productivité du personnel s'est nettement améliorée entre 1990 et 2012, tout comme les taux de remplissage du fret. La structure des charges d'exploitation témoigne d'une forte tendance à l'externalisation de la production. Le ratio d'exploitation montre que le transport ferroviaire demeure toujours une activité peu rentable, bien que les revenus d'exploitation parviennent désormais à couvrir les charges d'exploitation. Ce secteur se

caractérise également par un endettement massif et une forte dépendance des financeurs externes qui s'est généralement accrue.

Au regard de ces indicateurs et des trajectoires des 4 majors, la situation est aujourd'hui contrastée. Les performances des entreprises sont en moyenne meilleures qu'en 1990 mais nous sommes pourtant encore loin des ambitions nourries par la Commission européenne d'un véritable renouveau de l'industrie ferroviaire en Europe.

Il est vrai que notre étude porte sur un échantillon réduit d'exploitants ferroviaires qui n'intègrent pas les nouveaux entrants, dont les performances pourraient être bien différentes. Pour cette raison, un bilan des performances ferroviaires par pays ne peut pas être effectué au regard de la situation du seul opérateur historique. C'est cette limite qui nous a amenés à analyser dans le chapitre 3, la performance non pas au regard d'une compagnie mais plutôt à l'échelle d'un pays.

Le chapitre 2 a abordé le cadre théorique de l'analyse des performances des chemins de fer. Il a été question pour nous de présenter les fondements théoriques de l'inefficacité productive ainsi que les principaux outils qui peuvent être mobilisés pour évaluer les performances des entreprises. Nous avons centré notre présentation sur l'inefficacité X de Leibenstein (1966). Selon les tenants de cette théorie, l'inefficacité productive d'une entreprise peut être expliquée principalement par l'effort qui est fonction du degré de motivation en vigueur dans l'entreprise.

Deux grandes familles de modèles sont généralement mobilisées pour évaluer les performances des entreprises : les modèles des frontières paramétriques et les modèles des frontières non paramétriques. Chaque famille de modèles présente des avantages et des inconvénients. Pour cette recherche, nous avons utilisé l'approche paramétrique, plus précisément le modèle de frontière stochastique. Une revue non exhaustive d'études empiriques a été présentée. Grâce à cette revue de littérature, nous avons pu constater que la question de l'évaluation de la performance des chemins de fer n'est pas un sujet nouveau, elle a d'ailleurs retenu l'attention de plusieurs chercheurs ainsi que des professionnels. Toujours grâce à cette même revue de littérature, nous avons pu constater que les résultats d'une évaluation des performances des compagnies ferroviaires dépendent de plusieurs facteurs qui sont : le modèle à estimer, la méthode d'estimation et la qualité des données ou l'échantillon utilisé.

Le troisième chapitre de cette thèse propose des contributions empiriques à la mesure des performances des chemins de fer. Dans ce chapitre, nous avons évalué, comparé et expliqué les écarts de performances de certains pays de l'Union Européenne. Quatre indicateurs de performance ont retenu notre attention : l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité technique et la variation de la productivité totale des facteurs. La méthodologie utilisée nous a également permis de décomposer la variation de la productivité totale des facteurs en trois composants qui sont : la variation du progrès technique, la variation de l'efficacité productive ou de l'efficacité technique et enfin la variation de l'efficacité d'échelle.

Pour ce faire nous avons simultanément estimé trois frontières paramétriques et stochastiques, à savoir, une frontière de production orientée input, une frontière de consommation et une frontière d'efficacité technique orientée input. Comme technologie de production, nous avons retenu la fonction Translog.

Cette méthodologie a été appliquée sur un panel des pays de l'Union Européenne observé entre 1997 et 2011. Ce panel est composé de quatre pays de l'Europe de l'Ouest (Autriche, Allemagne Belgique et France), six pays de l'Europe de l'Est (Bulgarie, Hongrie, Pologne, République tchèque, Slovaquie et Roumanie), quatre pays de l'Europe du Sud (Espagne, Italie, Portugal et Slovénie) et enfin trois pays de l'Europe du Nord (Danemark, Finlande et Suède). Ce panel présente un double avantage puisqu'il est assez hétérogène aussi bien au niveau des pratiques que dans l'environnement dans lequel opèrent les compagnies ferroviaires.

Pour l'ensemble de l'échantillon, les scores d'efficacité moyen annuels pour l'efficacité productive, l'efficacité commerciale et l'efficacité technique sont respectivement de 89,08 %, 86,90 % et enfin 85,16 %. On estime à 0,7 % la moyenne des gains de productivité, à 0,9 % la moyenne de la variation du progrès technique, à -0,11 % la moyenne de la variation de l'efficacité d'échelle et à -0,12 % la moyenne de la variation de l'efficacité technique.

Ces chiffres montrent d'une part qu'en moyenne dans l'industrie ferroviaire les inputs de production sont utilisés dans des proportions incorrectes et d'autre part qu'il existe une inadéquation entre l'offre et la demande. Une comparaison a été faite entre les régions qui constituent notre échantillon et il se révèle que les performances des pays de l'Europe de l'Ouest sont au-dessus des performances des autres régions.

Les performances enregistrées par la région de l'Ouest sont : 90,72 % d'efficacité productive, 83,74 % d'efficacité commerciale, 88,58 % d'efficacité technique et enfin 11 % de gains de productivité. Les performances moyennes réalisées par les pays de l'Europe de l'Est sont : 86,94 % d'efficacité productive, 88,51 % d'efficacité commerciale, 79,89 % d'efficacité et enfin 5 % de gains de productivité. Pour les pays du Sud de l'Europe on note, 89,53 % d'efficacité productive, 86,95 % d'efficacité commerciale, 87,79 % d'efficacité technique et enfin – 5 % de gains de productivité. Enfin les pays de l'Europe du Nord ont enregistré 90,60 % d'efficacité productive, 87,77 % d'efficacité commerciale, 87,65 % d'efficacité technique et – 12 % de gains de productivité.

L'analyse des déterminants des gains de productivité montre que la variation de la productivité totale est une fonction affine et croissante de la variation du progrès technique. Le progrès technique est donc le principal déterminant des gains de productivité. Ce résultat a également été confirmé par le coefficient de corrélation de Spearman qui s'est révélé positif et significatif au seuil de 5 %. Ainsi les pays les plus performants sont ceux dont la variation du progrès technique est la plus élevée. Le progrès technique peut être relié d'une part au développement des trains à grande vitesse (qui a connu une évolution significative entre 1997 et 2011) et à l'électrification du réseau d'autre part.

Pour analyser la convergence des performances, nous avons divisé notre échantillon en deux groupes. Le premier échantillon regroupe les pays les plus performants en début de période. Le test de la β–convergence absolue s'est révélé statistiquement significatif pour tout l'échantillon et pour les deux groupes, avec une vitesse de rattrapage assez faible et une demi-vie assez grande. Ce qui veut dire que les scores d'efficacité convergent avec une vitesse assez lente vers leur état d'équilibre formé par le benchmark. Par contre les mouvements de σ–convergence et de σ–divergence sont également constatés.

Enfin le chapitre 4 a été consacré à l'analyse des principaux déterminants des performances des chemins de fer. Plus spécifiquement, il a été question d'analyser l'impact de la dynamique concurrentielle intra-modale et de la libéralisation sur les performances des systèmes ferroviaires. Ce chapitre complète ainsi le chapitre 3 puisqu'il essaye de trouver les raisons qui justifient les écarts de performance observés.

Pour ce faire, nous avons utilisé la technique du maximum de vraisemblance pour estimer plusieurs modèles Tobit. Comme variables à expliquer, nous avons utilisé l'efficacité productive, l'efficacité commerciale, l'efficacité technique et la variation de la productivité totale des facteurs. Ces variables ont été calculées au chapitre précédent. Dans chaque

modèle, nous avons utilisé la statistique du test de Student pour tester deux hypothèses. Ces hypothèses peuvent s'énoncer comme suit :

Hypothèse 1 : la dynamique concurrentielle (représentée par la variable COM) à un effet significatif sur les performances des chemins de fer.

Hypothèse 2 : la libéralisation des activités ferroviaires (représentée par la variable LIB) a un effet significatif sur les performances des chemins de fer.

Comme variable de contrôle nous avons utilisé le nombre de voyageurs par train, le nombre de tonnes par train, le PIB par habitant, la densité de la population, la superficie de chaque pays et la structure de production.

Les résultats obtenus remettent en cause les effets réels de la dynamique concurrentielle intra-modale et de la libéralisation ferroviaire sur les performances des chemins de fer. En effet lorsque seule la variable COM est introduite dans le modèle, les résultats montrent que la dynamique concurrentielle intra-modale a un impact positif sur l'efficacité commerciale, sur l'efficacité technique et enfin sur les gains de productivité. Par contre elle n'a pas d'impact sur l'efficacité productive. Les mêmes résultats sont obtenus lorsque seule la variable LIB est introduite dans le modèle. Par contre lorsque dans un même modèle on introduit à la fois les deux variables COM et LIB, sous contrôle de la multi-colinéarité, les résultats montrent que la dynamique concurrentielle intra-modale a un effet positif uniquement sur les gains de productivité tandis que la libéralisation a un effet positif uniquement sur l'efficacité commerciale. C'est donc l'ensemble de ces résultats qui nous amène à douter des effets réels de la libéralisation et de la dynamique concurrentielle sur les performances des compagnies.

Va-t-on réellement vers un espace ferroviaire intégré ? Nos résultats montrent que cet objectif est loin d'être atteint puisqu'il existe une faible vitesse de convergence des performances et de plus, les systèmes ferroviaires sont assez différents. Ainsi, Desmaris (2014) montre qu'en Suisse, davantage de performance est possible sans la concurrence. Ces progrès sont redevables à la nature de la gouvernance publique et de son impact sur le jeu des acteurs. Dans le cadre d'une décentralisation des commandes publiques, les pouvoirs publics ont imposé aux opérateurs des objectifs ambitieux associés à de sévères contraintes financières. Ce nouveau dispositif a donc permis aux entreprises ferroviaires de réaliser des gains de productivité significatifs et de profondes innovations managériales et techniques.

2. Apports de la thèse

Le premier apport réside dans l'utilisation d'une série longue de données statistiques, de 1997 à 2011 pour l'estimation économétrique et de 1990 à 2012, pour d'autres analyses comparatives. Nos résultats empiriques sont fondés sur l'estimation d'une frontière de production stochastique. Cette méthode reste la moins utilisée parmi celles qui sont généralement employées pour évaluer les performances des chemins de fer.

Le deuxième apport est que cette thèse est multidisciplinaire. Elle intègre les disciplines complémentaires comme la microéconomie de la production et l'économétrie.

Le troisième apport est qu'elle fait partie des rares études qui utilisent une approche économétrique pour tester la convergence des performances des chemins de fer.

3. Limites de l'étude et piste de recherches futures

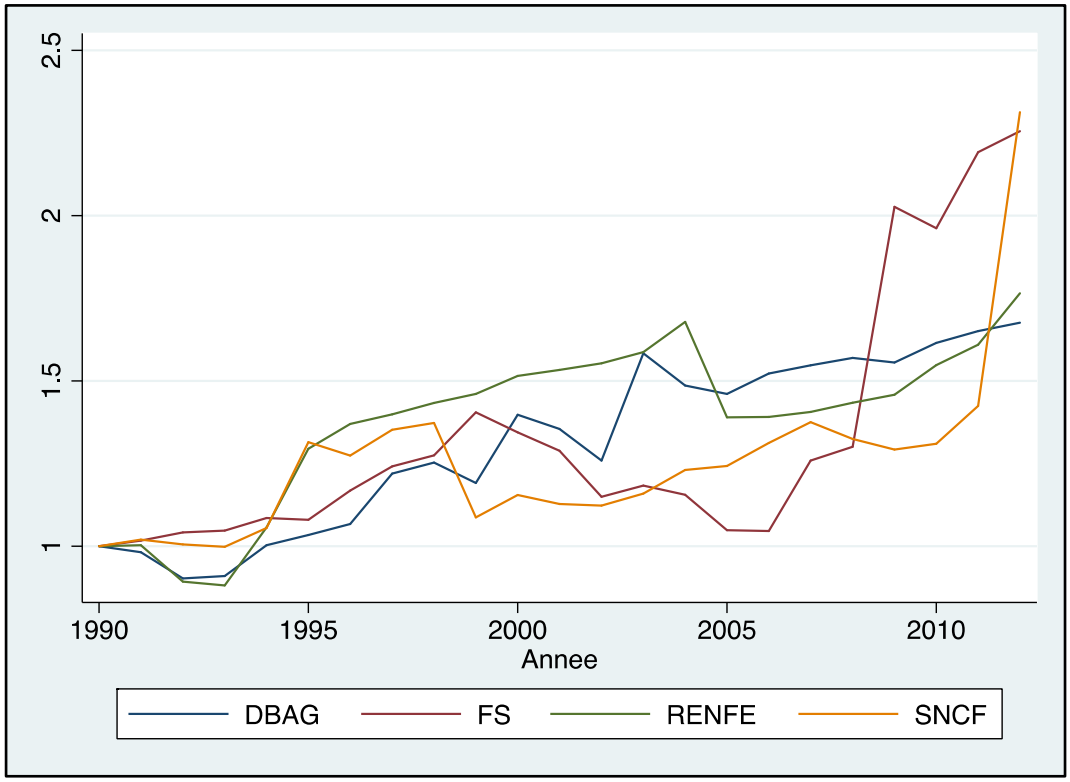
Comme tout travail de recherche, cette thèse a affronté plusieurs difficultés.

- Les indicateurs de mesure des performances utilisés n'incluent pas les indicateurs qualitatifs (par exemple la qualité de service, la ponctualité des trains, les conditions d'accès au réseau ferroviaire) du fait de données limitées.
- Nous ne disposons pas de statistiques de longue période sur les variables financières telles que : le coût de production, le montant des subventions, les prix des facteurs de production. Une prise en compte de ces variables pourrait modifier les résultats.
- Comme on l'a mentionné plus haut, notre analyse économétrique utilise un panel de 17 pays européens observés entre 1997 et 2011. Certes c'est une série assez longue, mais nous pensons qu'entre 2012 et 2015, certains systèmes ferroviaires ont subi de profondes mutations. En France par exemple, le projet de réforme ferroviaire (Loi du 4 août 2014 entrée en vigueur le 1er janvier 2015) est marqué par la création effective du nouveau groupe public ferroviaire SNCF. Cet établissement de tête assure désormais le pilotage stratégique de deux établissements publics : le gestionnaire d'infrastructure (SNCF Réseau) et l'exploitant ferroviaire (SNCF Mobilité). En Allemagne, la montée en puissance du transport routier a affecté considérablement les performances de l'opérateur historique, la DB.
- Afin de parachever l'espace ferroviaire unique, la Commission européenne a rendu publique le 30 janvier 2013, les textes qui constituent le 4ème paquet ferroviaire. Il

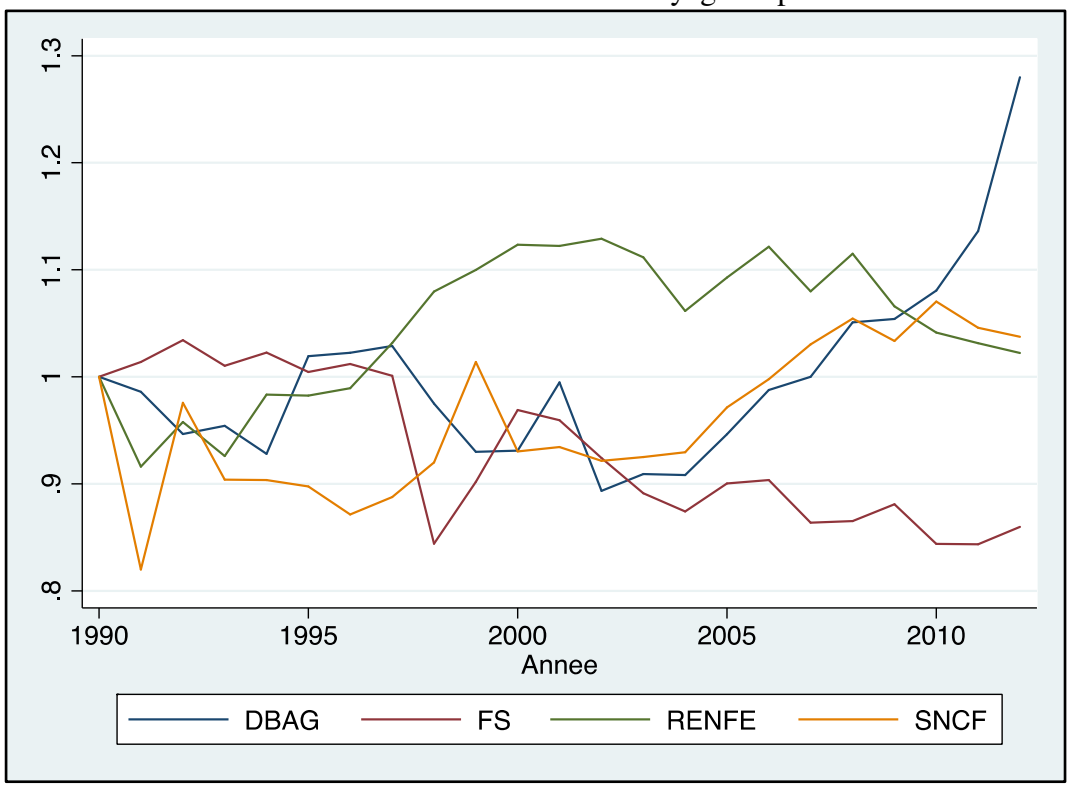
s’agit d’un ensemble de cinq textes composant le pilier « technique » (Agence ferroviaire européenne, interopérabilité et sécurité ferroviaire) et le volet « marché » (gouvernance des acteurs et ouverture à la concurrence du transport de voyageurs). Ces textes viennent d’être validés par le Parlement européen. Les études futures pourront tenir compte de cette nouvelle donne dans l’évaluation des performances.

Annexes

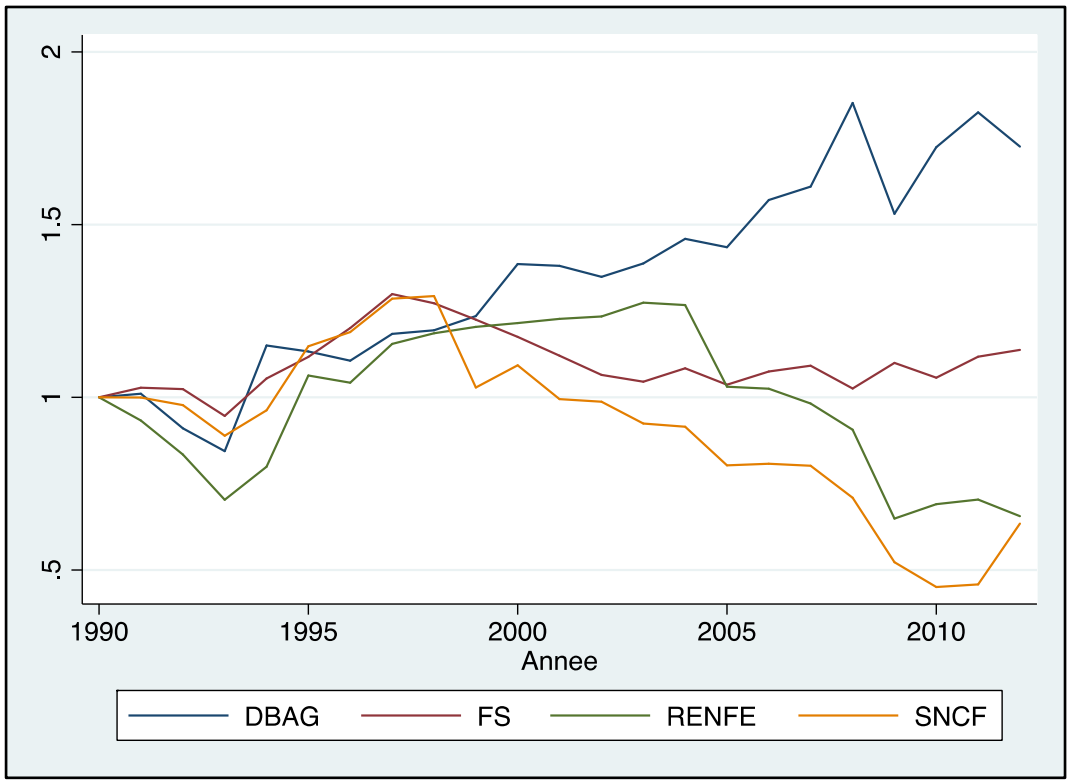
Annexe 1-1 : Indice du nombre voyageurs-km



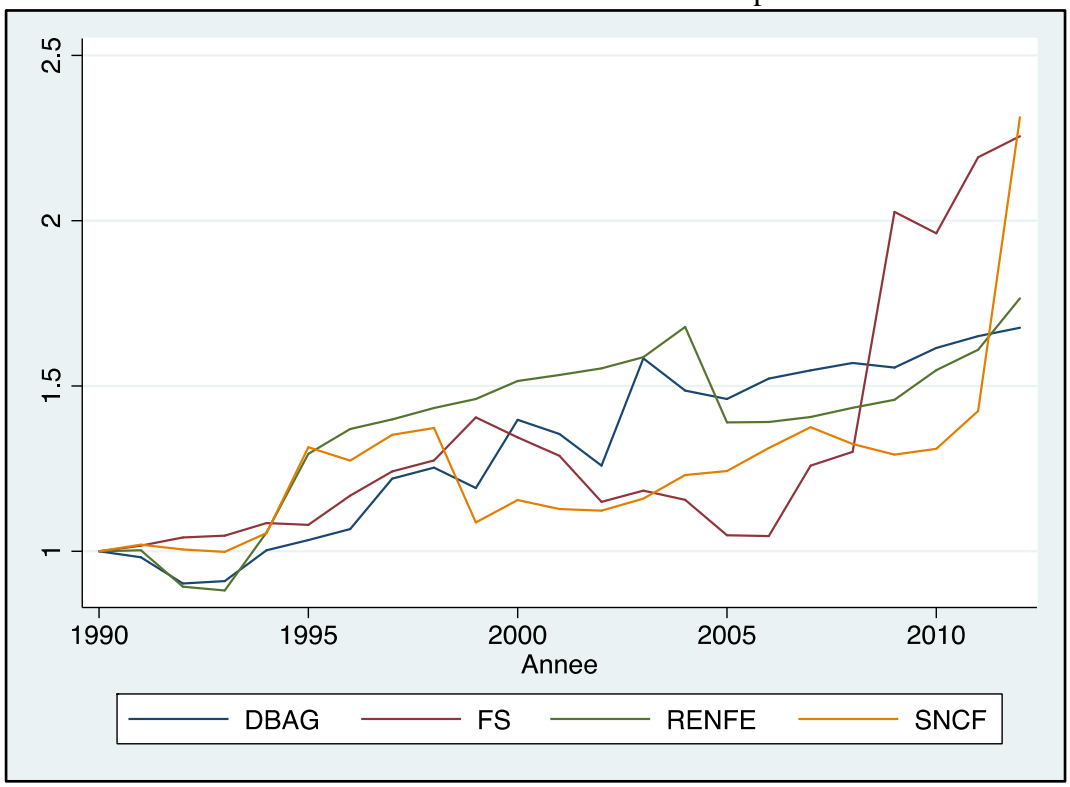
Annexe 1-2 : Indice du nombre de voyageurs par train



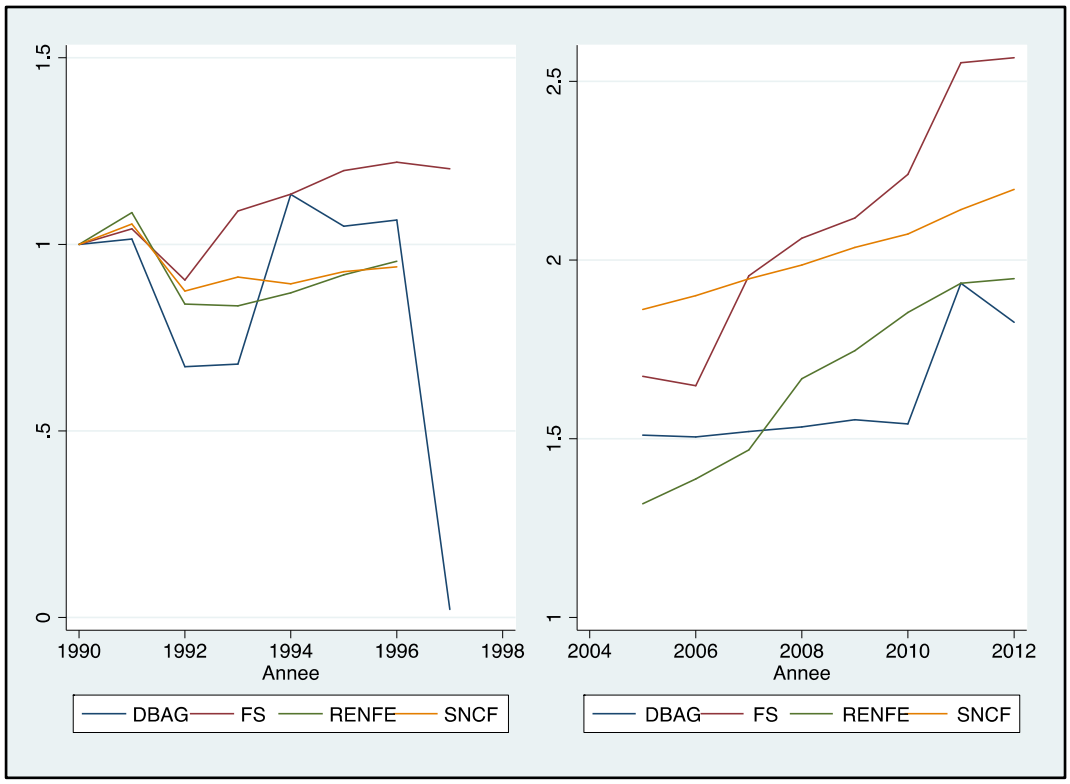
Annexe 1-3 : Indice du nombre de tonnes-km



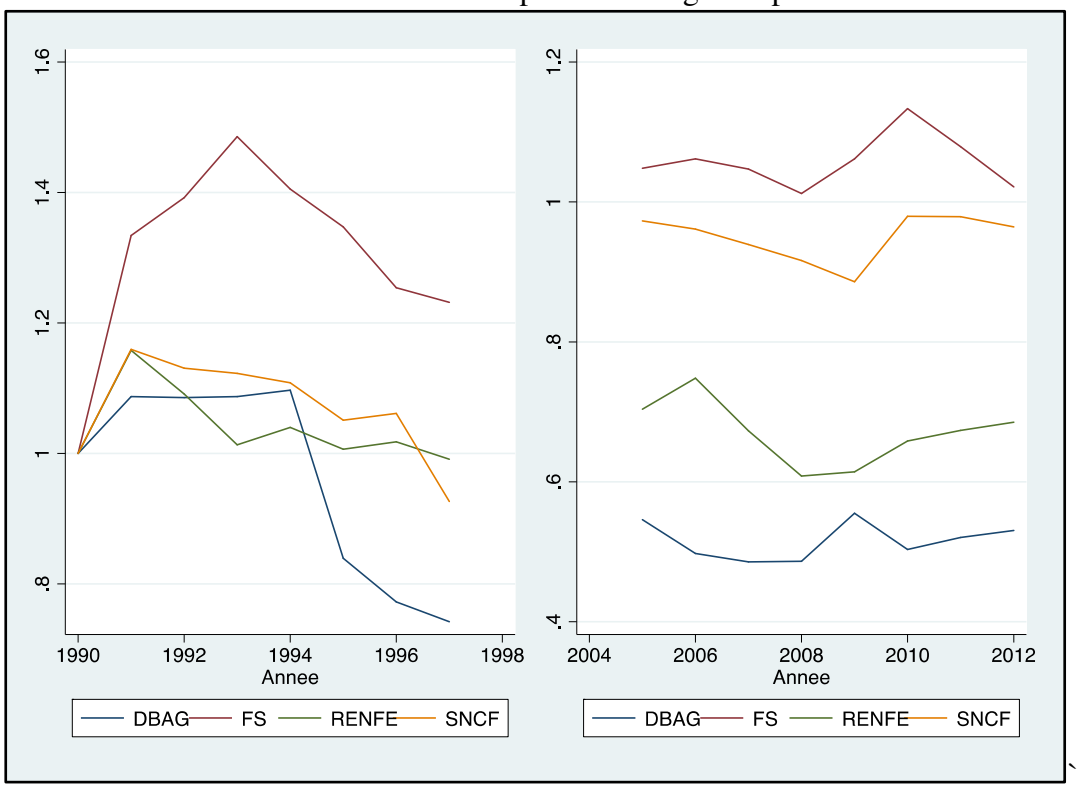
Annexe 1-4 : Indice du nombre de tonnes par train



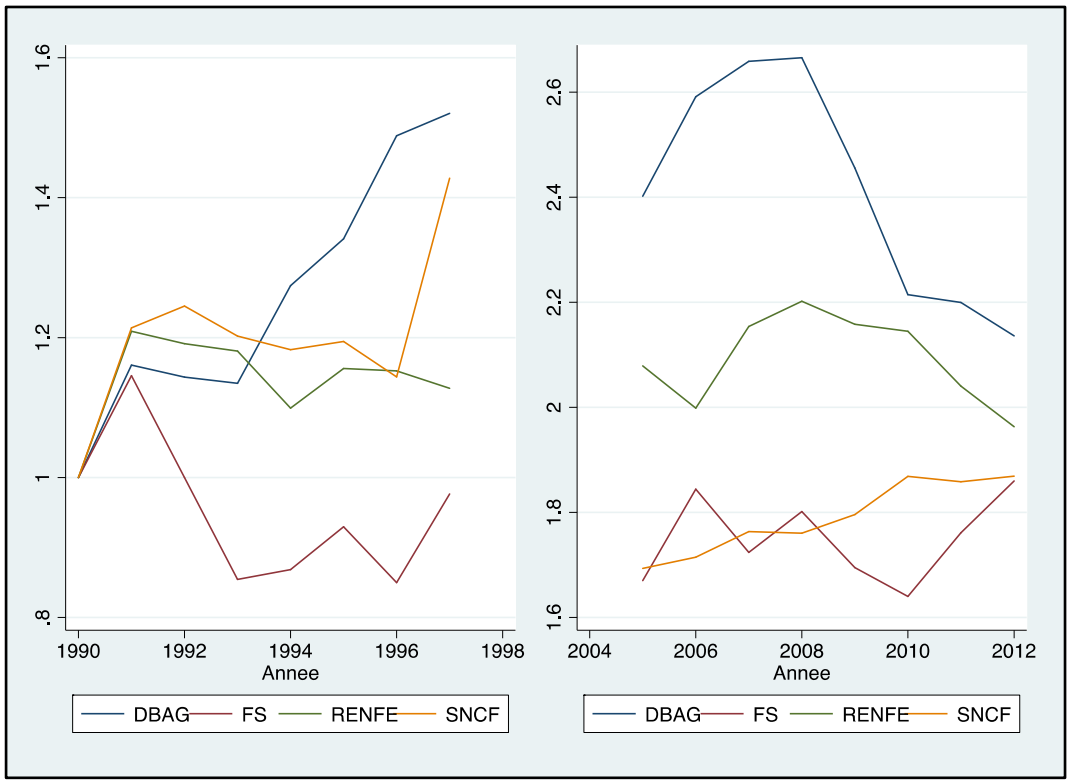
Annexe 1-5 : Évolution de l'indice de la recette moyenne par voyageur-km



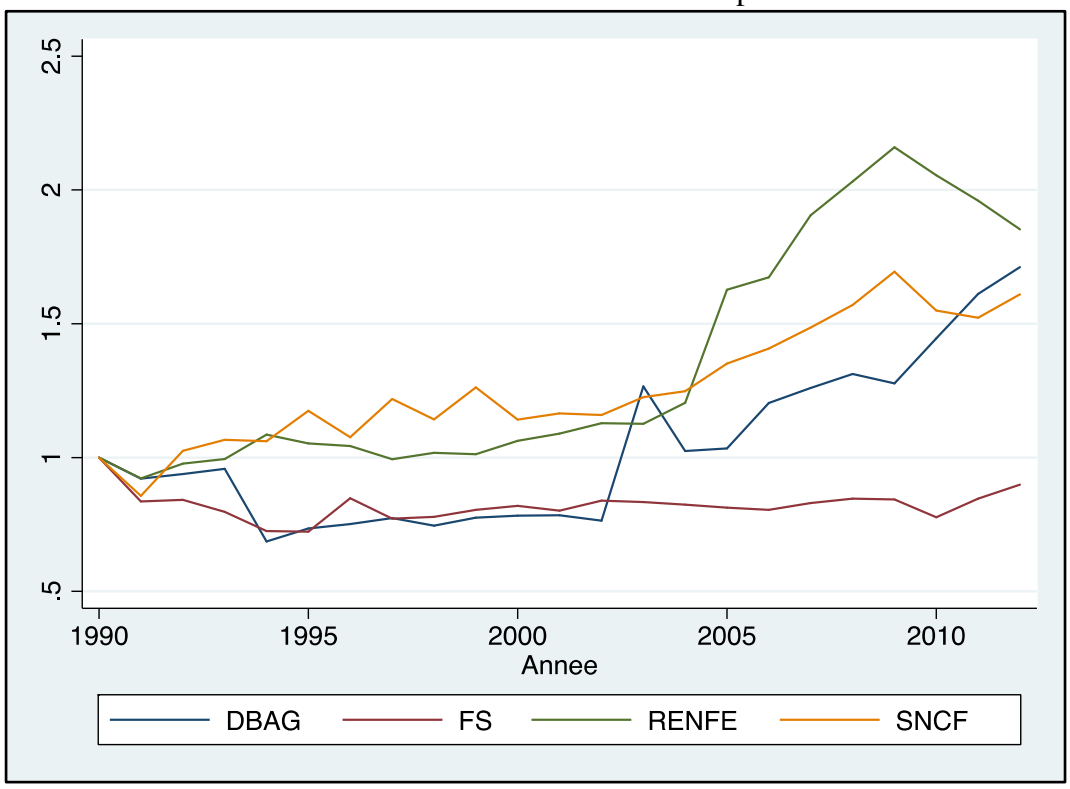
Annexe 1-6 : Indice de la part des charges de personnel



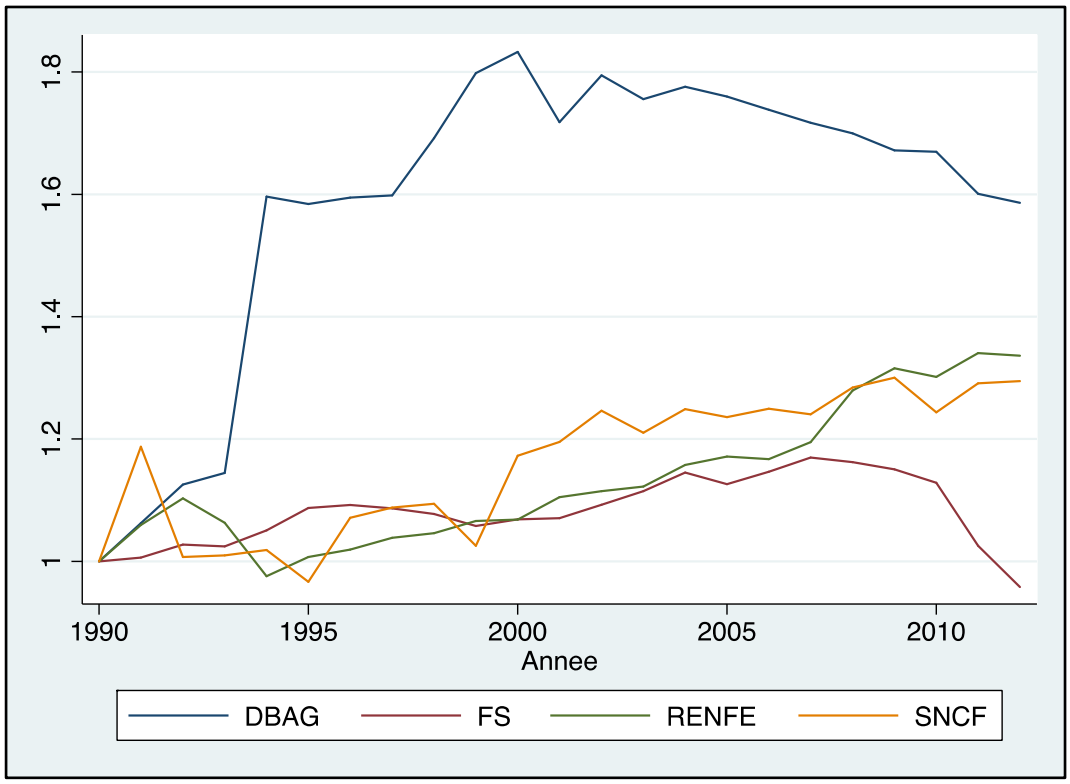
Annexe 1-7 : Evolution de l'indice de la part du coût des consommations et charges externes



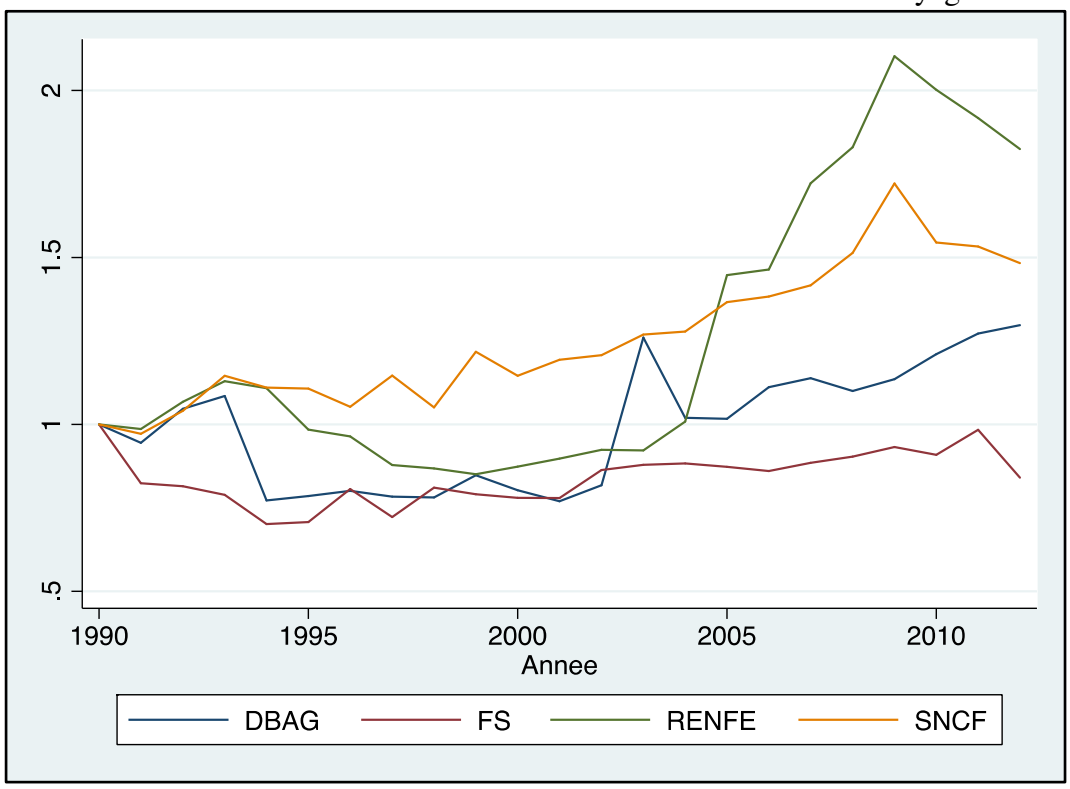
Annexe 1-8 : Evolution de l'indice du coût par train-km



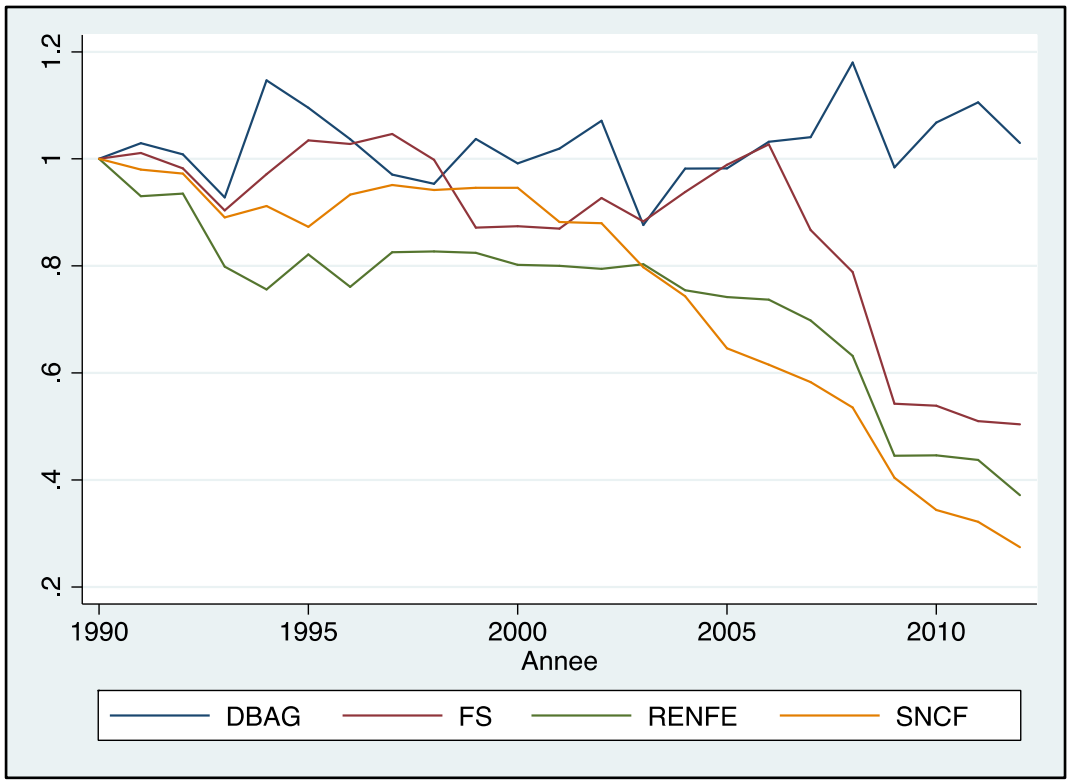
Annexe 1-9 : Evolution de l'indice du coût par unité de trafic



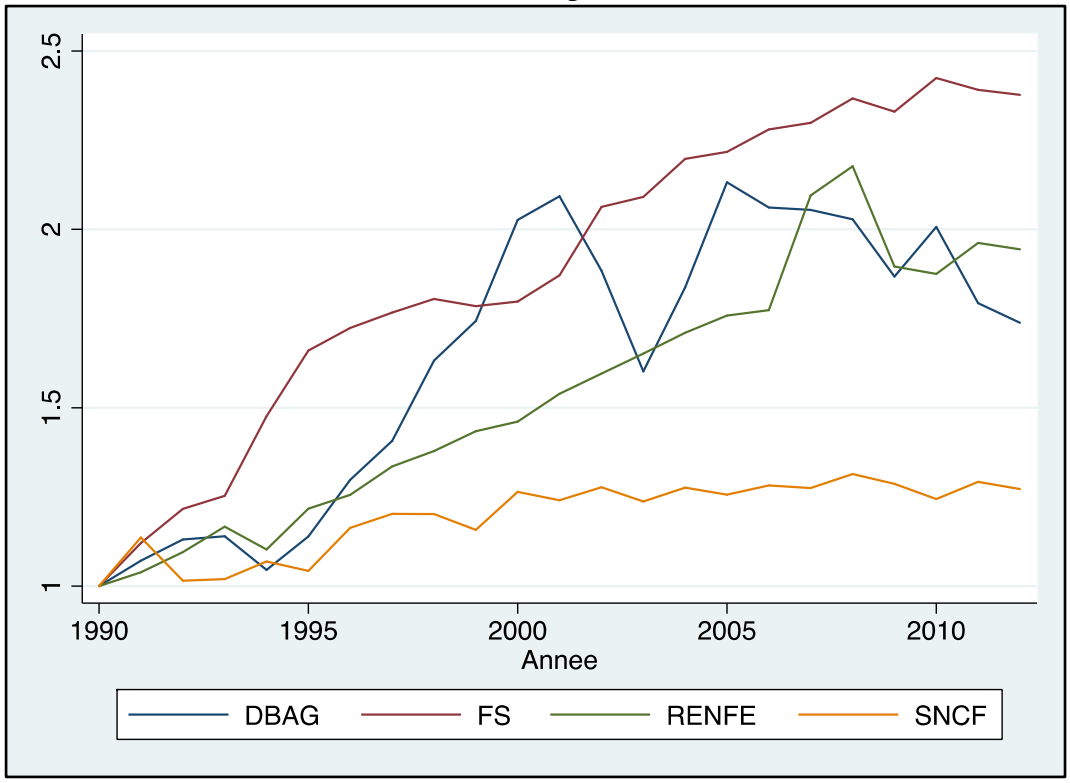
Annexe 1-10 : Evolution de l'indice du nombre de trains-km de voyageurs



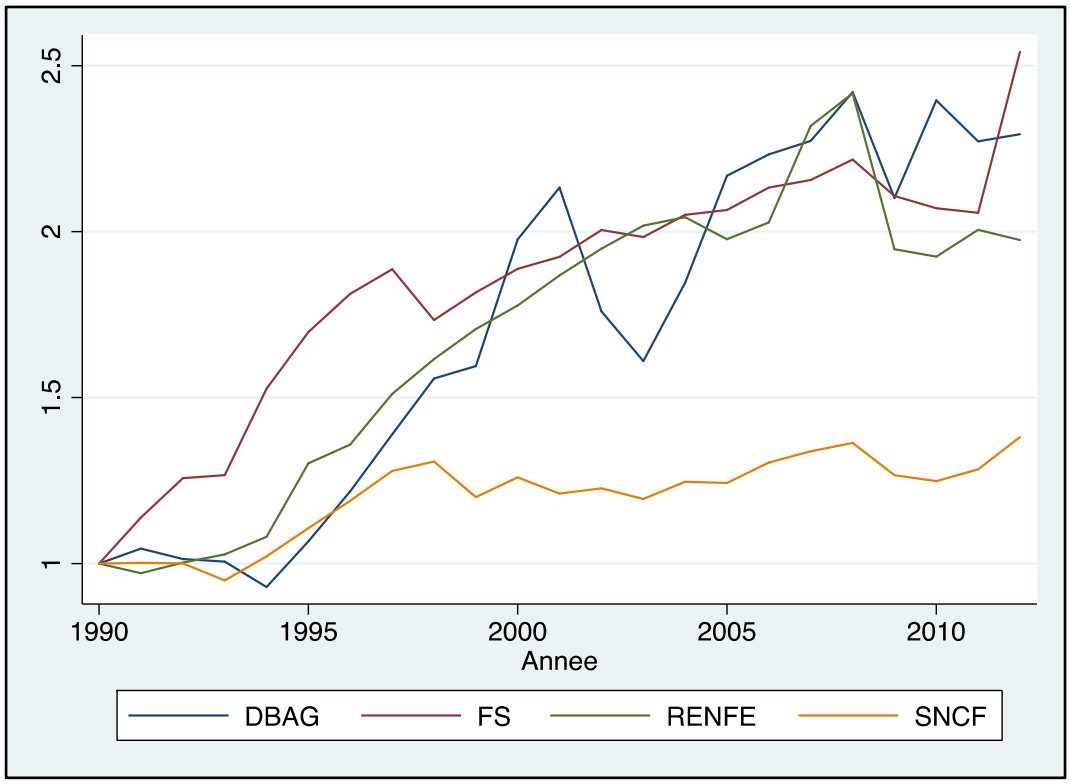
Annexe 1-11 : Evolution de l'indice du nombre de trains-km de fret



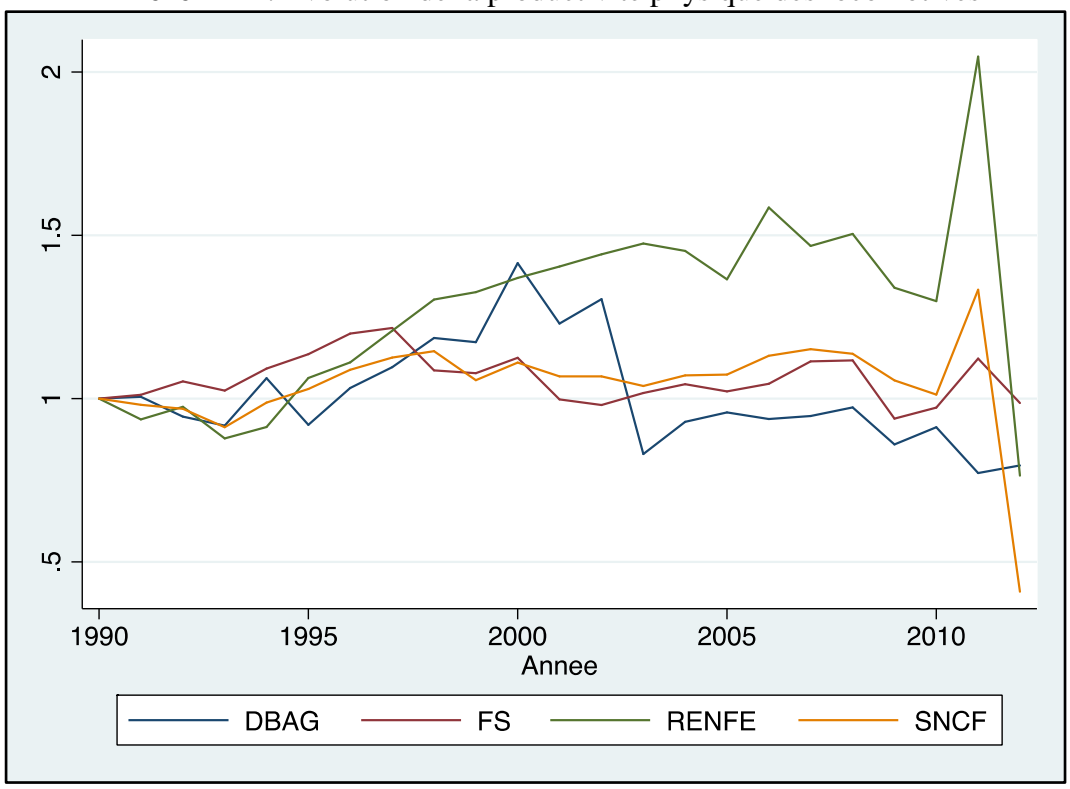
Annexe 1-12 : Evolution de l'indice de la productivité du travail (en trains-km)



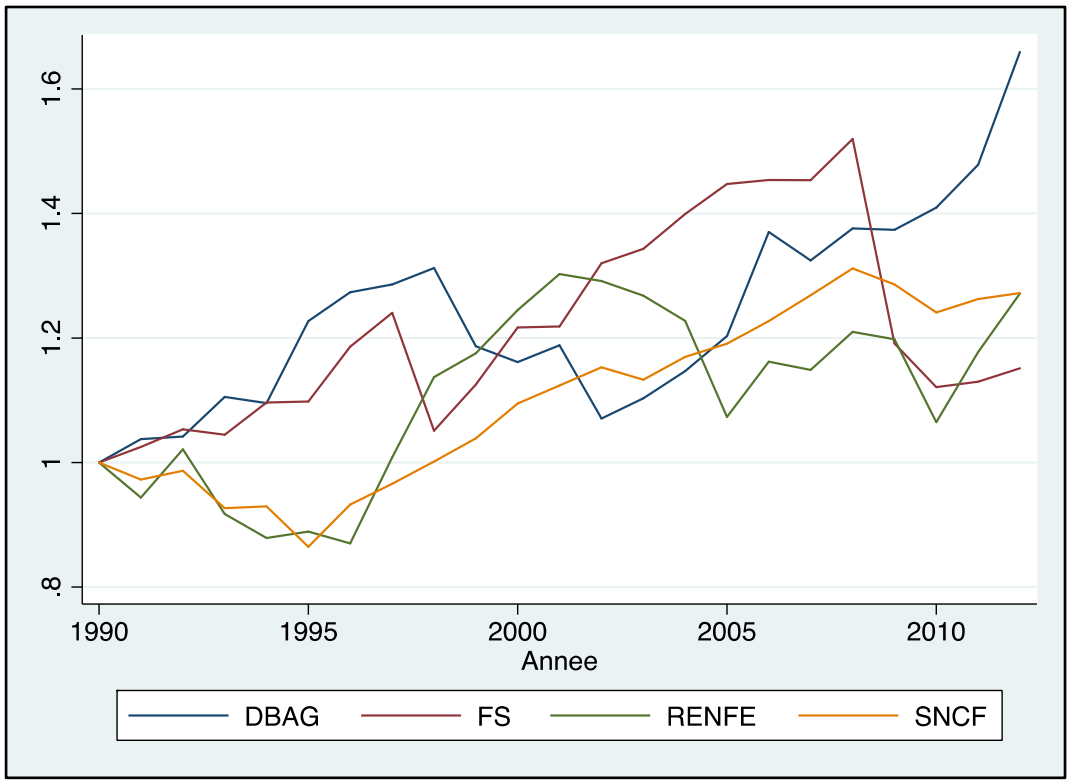
Annexe 1-13 : Evolution de l'indice de la productivité du travail (en unité de trafic)



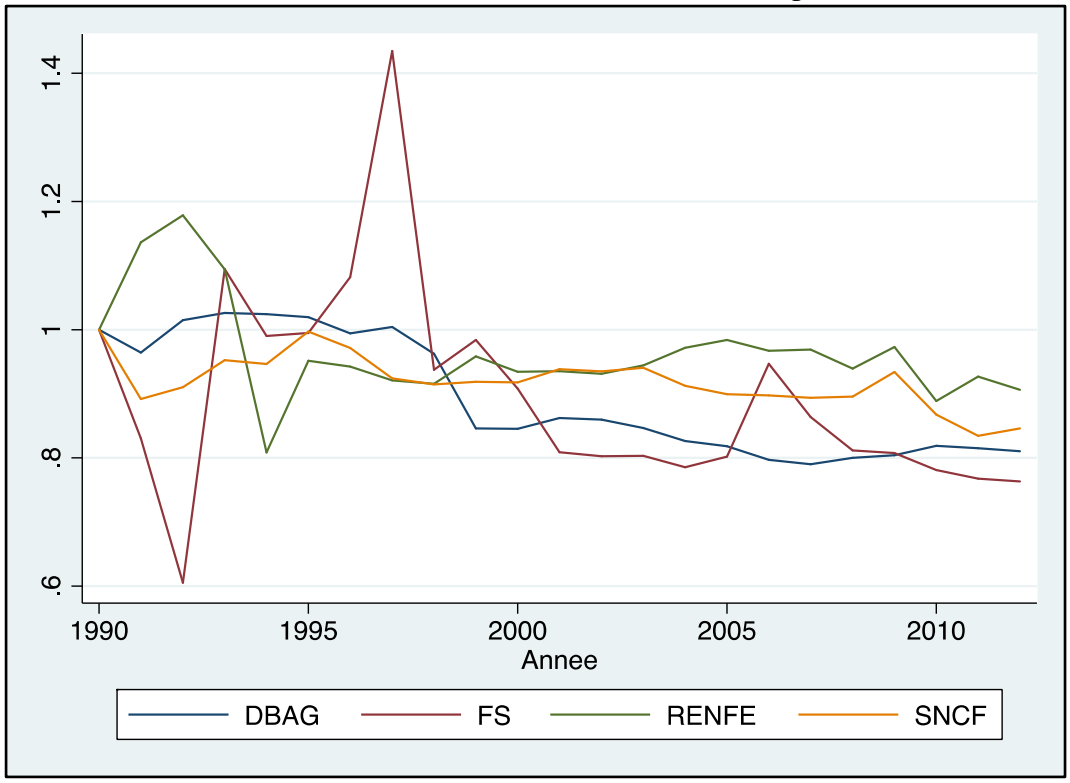
Annexe 1-14 : Evolution de la productivité physique des locomotives



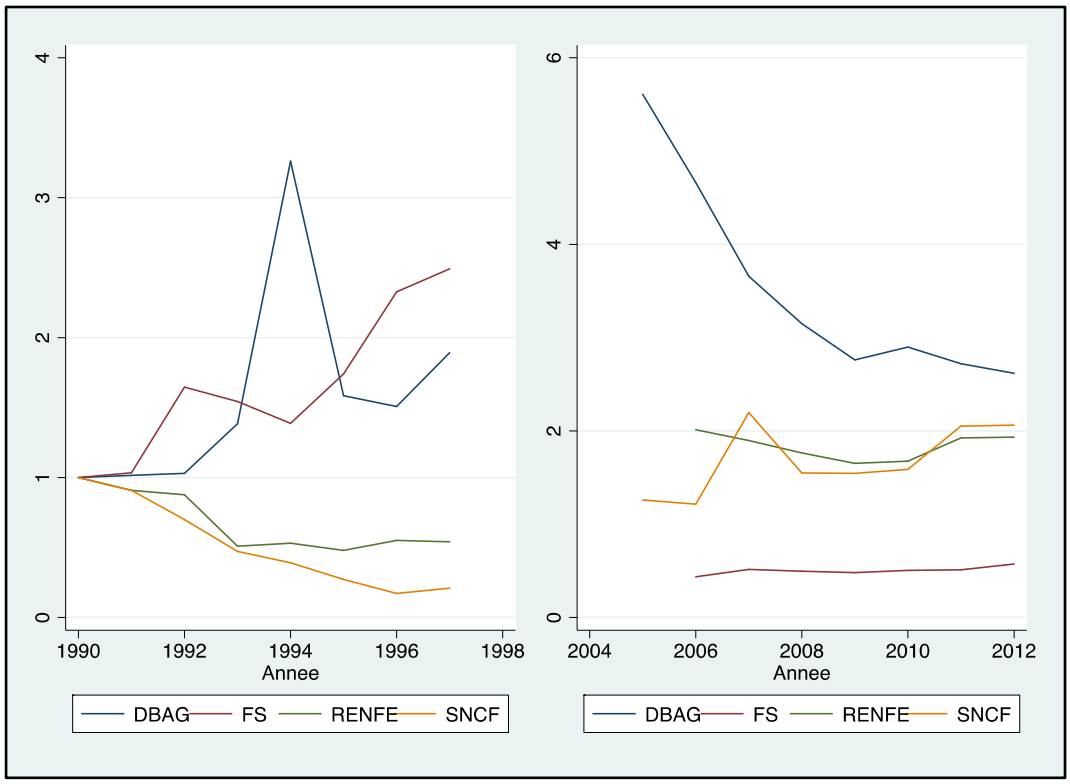
Annexe 1-15 : Evolution de l'indice de productivité des voitures



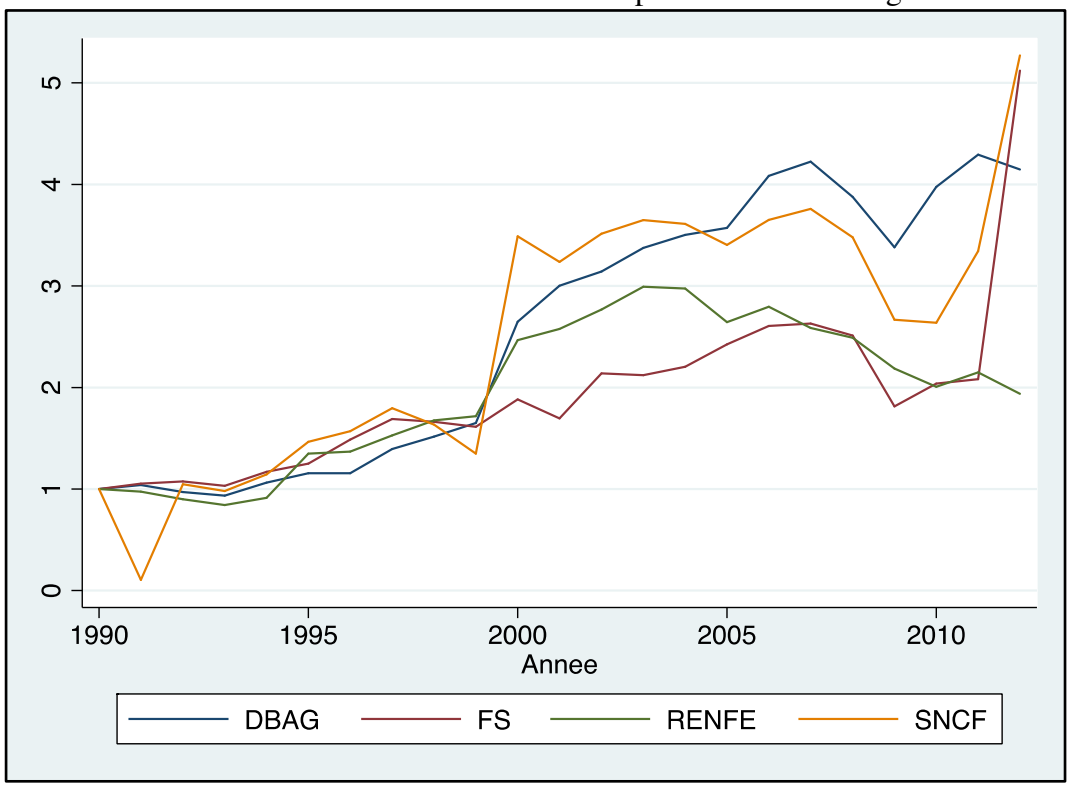
Annexe 1-16 : Evolution de l'indice du ratio d'exploitation



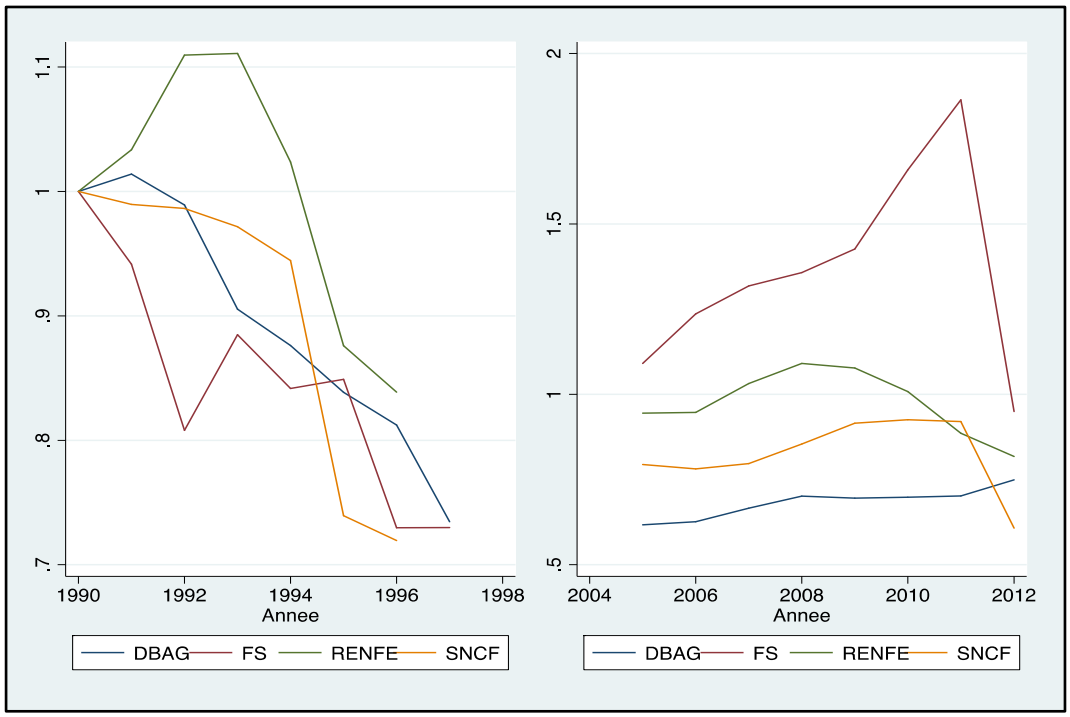
Annexe 1-17 : Evolution de l'indice du taux d'endettement



Annexe 1-18 : Evolution de l'indice de productivité des wagons



Annexe 1-19 : Evolution de la recette moyenne par tonne-km



Annexe 1-20: Test de comparaison des populations par année (recette moyenne voyageur-km)

Année	Obs	Somme des rangs
2001	1	25
2002	1	34
2003	1	32
2004	1	28
2005	4	53
2006	4	55
2007	4	62
2008	4	66
2009	4	72
2010	4	73
2011	4	82
2012	4	84
Chi-deux= 7.655 Probabilité = 0.7438		

Année	Obs	Somme des rangs
1990	4	61
1991	4	68
1992	4	44
1993	4	53
1994	4	62
1995	4	64
1996	4	69
1997	2	44
Chi-deux= 2.687 Probabilité = 0.9124		

Annexe 1-21 : Test de comparaison des populations par année du nombre de tonnes-km

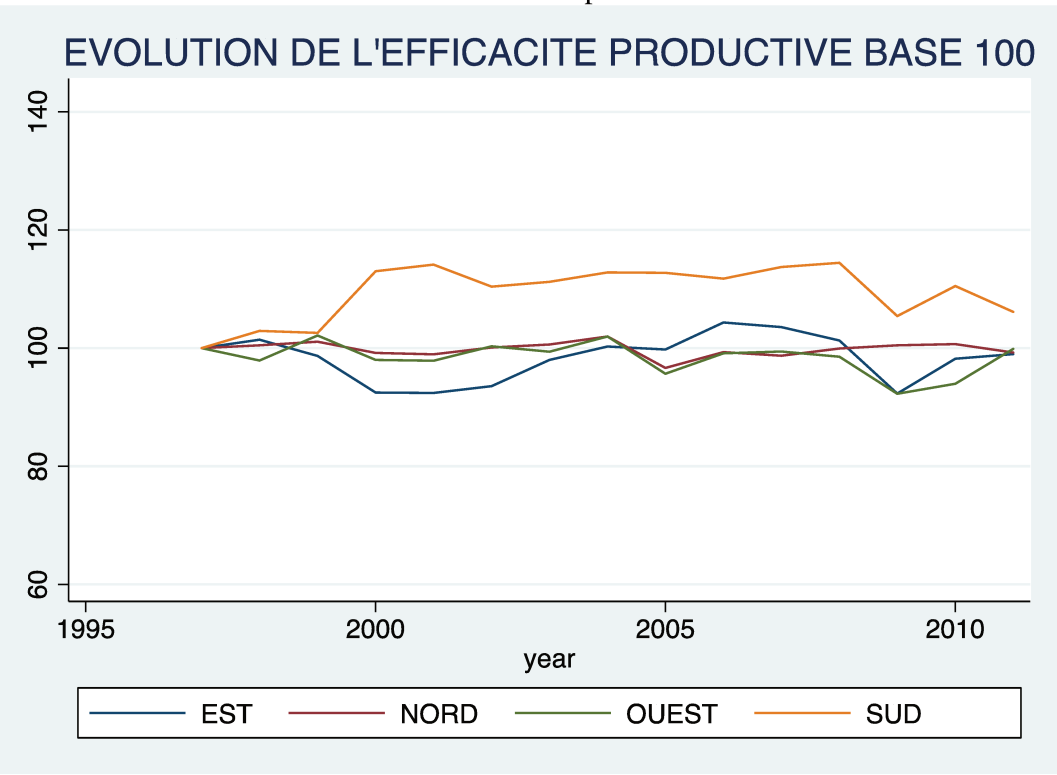
Annee	Obs	Somme des rangs	Annee	Obs	Somme des rangs
1990	4	169	2002	4	194
1991	4	170	2003	4	193
1992	4	159	2004	4	198
1993	4	147	2005	4	179
1994	4	171	2006	4	187
1995	4	196	2007	4	186
1996	4	202	2008	4	178
1997	4	213	2009	4	173
1998	4	215	2010	4	167
1999	4	208	2011	4	179
2000	4	209	2012	4	183
2001	4	202			
Chi-deux = 2,515 Probabilité = 1,0000					

Annexes

Annexe 3-22 : Statistiques descriptives de l'efficacité productive

EFFICACITE PRODUCTIVE				
	MOYENNE	ECART TYPE	MIN	MAX
Septentrionale				
Danemark	0.9167269	0.0221475	0.8771309	0.9543920
Finlande	0.8820440	0.0297795	0.8353484	0.9290276
Suède	0.9193280	0.0298374	0.8645998	0.9693894
Orientale				
Bulgarie	0.8665615	0.0613431	0.7899631	0.9628029
République tchèque	0.9285501	0.0264208	0.8814989	0.9657040
Hongrie	0.8793994	0.0691511	0.7682208	0.9658342
Pologne	0.8656930	0.0441833	0.7663366	0.9399156
Roumanie	0.8241812	0.1201762	0.6536005	0.9655197
Slovaquie	0.8519282	0.0849817	0.6813769	0.9738149
Méridionale				
Italie	0.8825445	0.0327640	0.8139057	0.9237281
Portugal	0.8764505	0.0830338	0.7136621	0.9644122
Espagne	0.9029836	0.0553779	0.7668675	0.9590834
Slovénie	0.9191180	0.0522688	0.7371947	0.9538249
Occidentale				
Autriche	0.9195612	0.0443790	0.7958918	0.9698043
Belgique	0.9128414	0.0395057	0.8116385	0.9679782
France	0.8818226	0.0289334	0.8140879	0.9157376
Allemagne	0.9147042	0.0318007	0.8477889	0.9731354

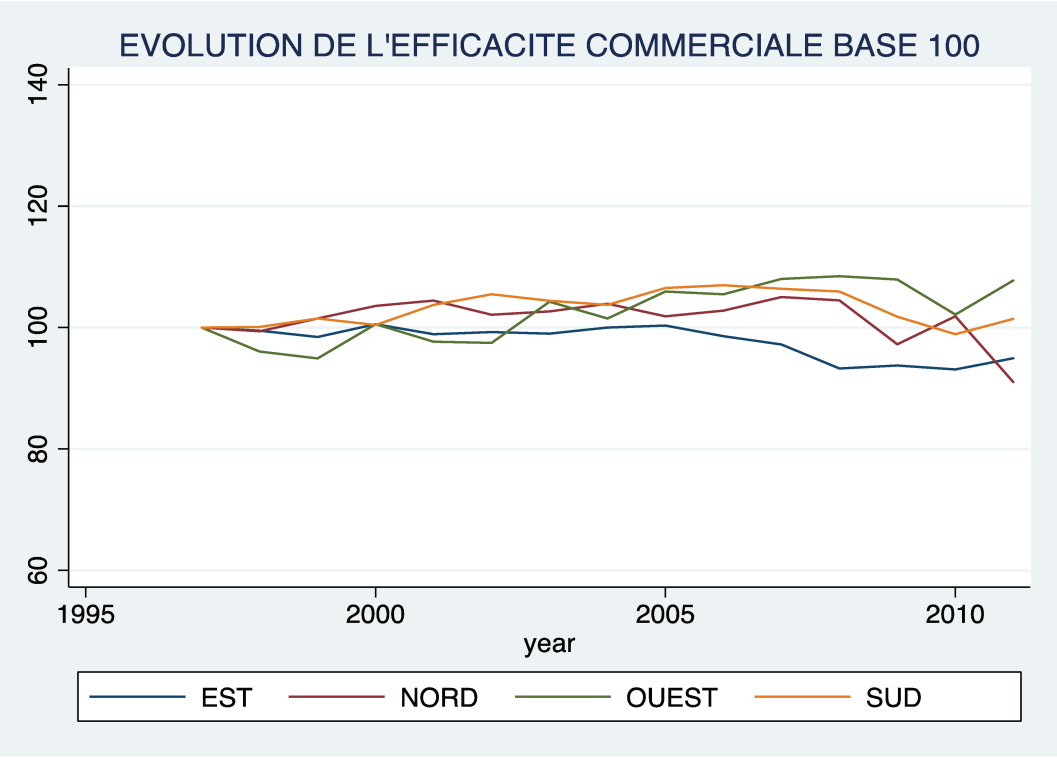
Annexe 3-23 : Évolution de l'efficacité productive en base 100 = 1 997



Annexe 3-24 : Variation de la productivité totale 1 et ses composants

PRODUCTIVITE TOTALE ET SES COMPOSANTS PAR REGION				
	TC1	TEC1	SEC1	TFP1
Septentrionale				
Danemark	0.810823	1.003058	0.999678	0.812803
Finlande	0.861070	1.001000	0.999900	0.861953
Suède	0.862069	0.995640	0.999679	0.858281
Orientale				
Bulgarie	0.95623	1.00115	1.00408	0.96070
République tchèque	1.08407	1.00039	1.00045	1.08491
Hongrie	0.98688	1.01760	0.99993	1.00413
Pologne	1.15344	1.00139	0.99965	1.15465
Roumanie	1.07685	0.99236	0.99930	1.06794
Slovaquie	1.04003	1.00137	1.00267	1.04358
Slovénie	0.83291	0.98404	0.99877	0.81862
Méridionale				
Italie	1.11800	1.00104	0.99875	1.11808
Portugal	0.84252	1.02362	0.99965	0.86169
Espagne	0.94272	1.01148	0.99981	0.95351
Occidentale				
Autriche	1.00537	1.00107	1.00342	1.00929
Belgique	1.00820	0.99829	0.99975	1.00602
France	1.16596	1.00459	0.99903	1.17021
Allemagne	1.21678	1.00136	1.00429	1.22447

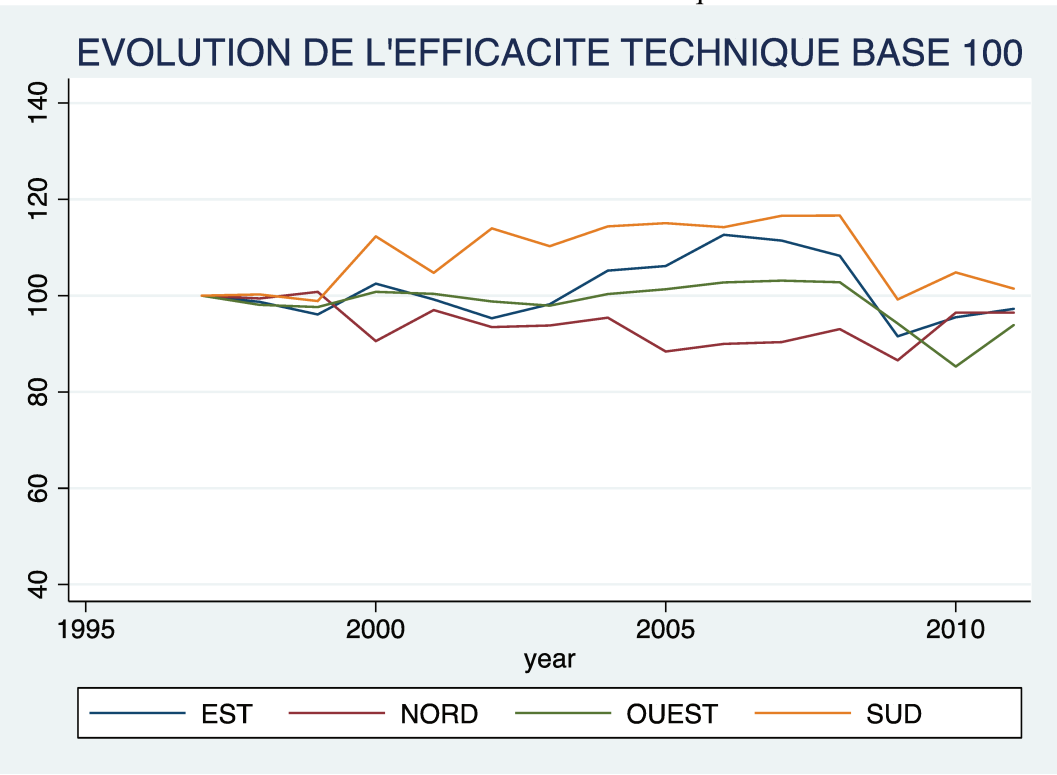
Annexe 3-25 : Évolution de l'efficacité commerciale base 100 = 1 997



Annexe 3-26 : Statistique descriptive de l'efficacité commerciale

EFFICACITE COMMERCIALE				
	MOYENNE	ECART TYPE	MIN	MAX
Septentrionale				
Danemark	0.85408	0.08089	0.62834	0.94039
Finlande	0.93908	0.00696	0.92556	0.94874
Suède	0.83987	0.01817	0.81404	0.88065
Orientale				
Bulgarie	0.89243	0.05478	0.79584	0.97053
République tchèque	0.75159	0.04087	0.67532	0.80333
Hongrie	0.88714	0.06408	0.77337	0.95588
Pologne	0.93282	0.01369	0.89984	0.95179
Roumanie	0.93380	0.03451	0.83583	0.98538
Slovaquie	0.91271	0.04470	0.78448	0.96155
Slovénie	0.87064	0.03759	0.79919	0.91371
Méridionale				
Italie	0.89303	0.03162	0.84397	0.93409
Portugal	0.91666	0.04352	0.77905	0.97165
Espagne	0.79777	0.06219	0.67954	0.87258
Occidentale				
Autriche	0.69510	0.05722	0.59356	0.78024
Belgique	0.88929	0.05566	0.81066	0.96428
France	0.90592	0.05222	0.78450	0.95804
Allemagne	0.85935	0.06436	0.70931	0.95272

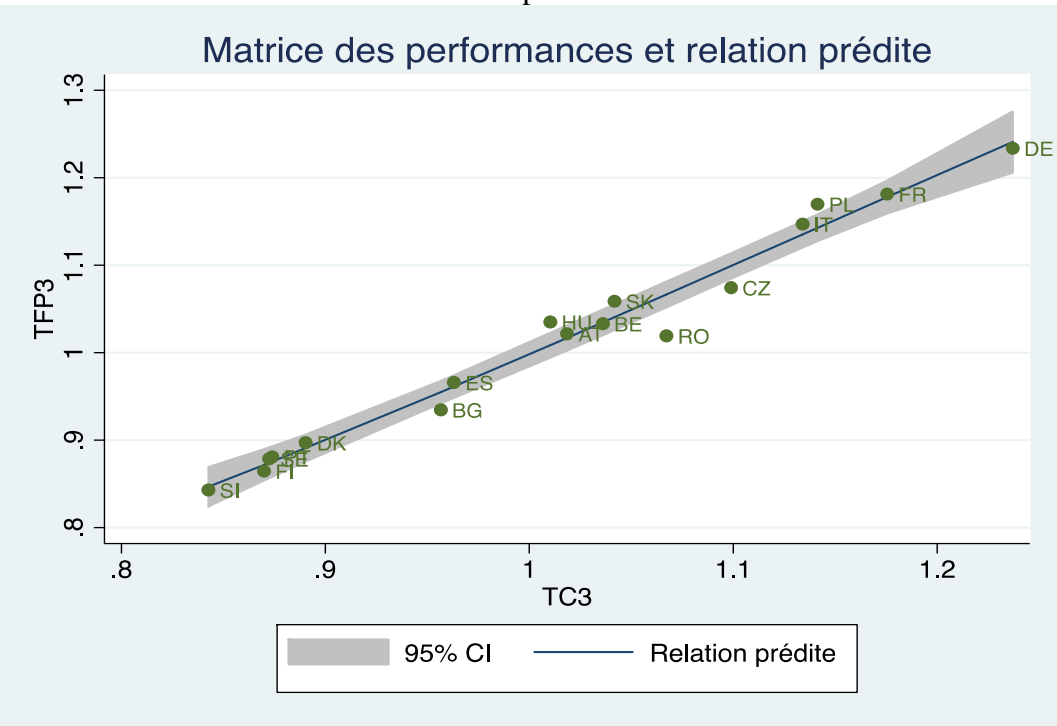
Annexe 3-27 : Évolution de l'efficacité technique base 100 = 1 997



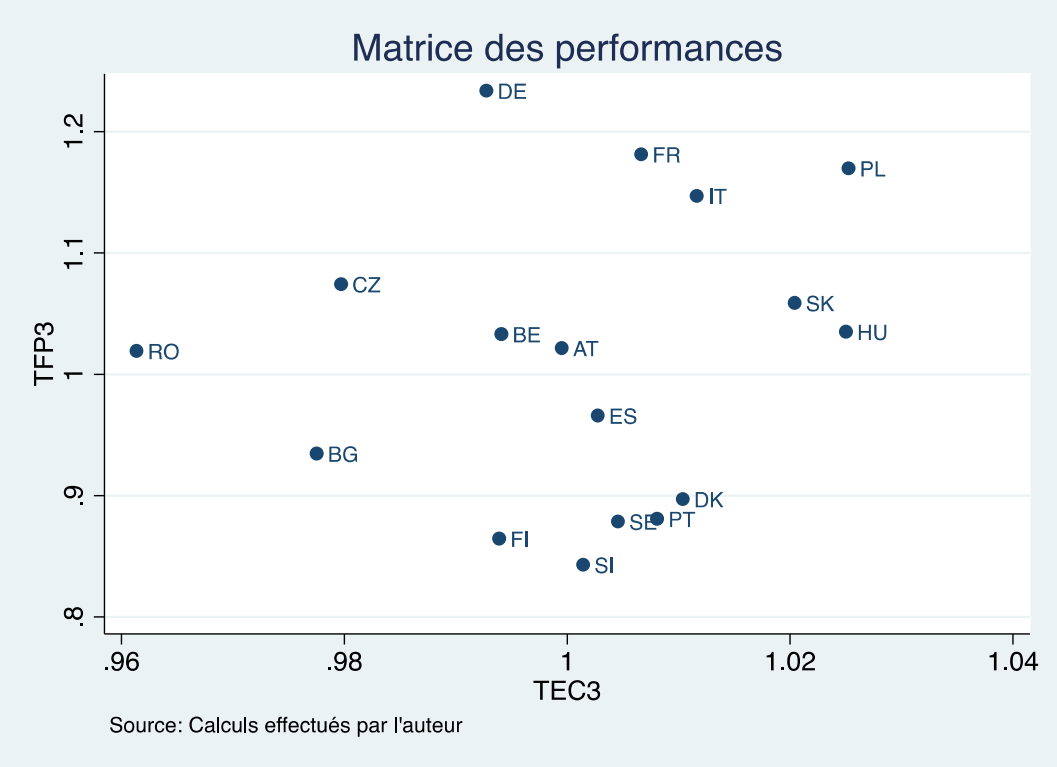
Annexe 3-28 : Statistiques descriptives de l'efficacité technique

EFFICACITE TECHNIQUE				
	MOYENNE	ECART TYPE	MIN	MAX
Septentrionale				
Danemark	0.868114	0.093370	0.623950	0.971691
Finlande	0.903018	0.040294	0.819802	0.966287
Suède	0.858475	0.096616	0.658622	0.982543
Orientale				
Bulgarie	0.803103	0.124985	0.580242	0.979458
République tchèque	0.663070	0.060499	0.551399	0.761162
Hongrie	0.846088	0.099383	0.717031	0.982198
Pologne	0.860936	0.093260	0.680717	0.982225
Roumanie	0.774500	0.143904	0.489684	0.942137
Slovaquie	0.845501	0.100831	0.641043	0.980797
Slovénie	0.879895	0.071405	0.760482	0.977847
Méridionale				
Italie	0.892967	0.058007	0.811468	0.964955
Portugal	0.898591	0.074566	0.672160	0.978934
Espagne	0.840225	0.113214	0.644112	0.965860
Occidentale				
Autriche	0.930754	0.033369	0.871681	0.984551
Belgique	0.875808	0.049948	0.756959	0.933236
France	0.912566	0.045268	0.810065	0.973829
Allemagne	0.824094	0.109383	0.571079	0.958854

Annexe 3-29 : Matrice des performances : TFP3 et TC3



Annexe 3-30 : Matrice des performances : TEC3 et TFP3

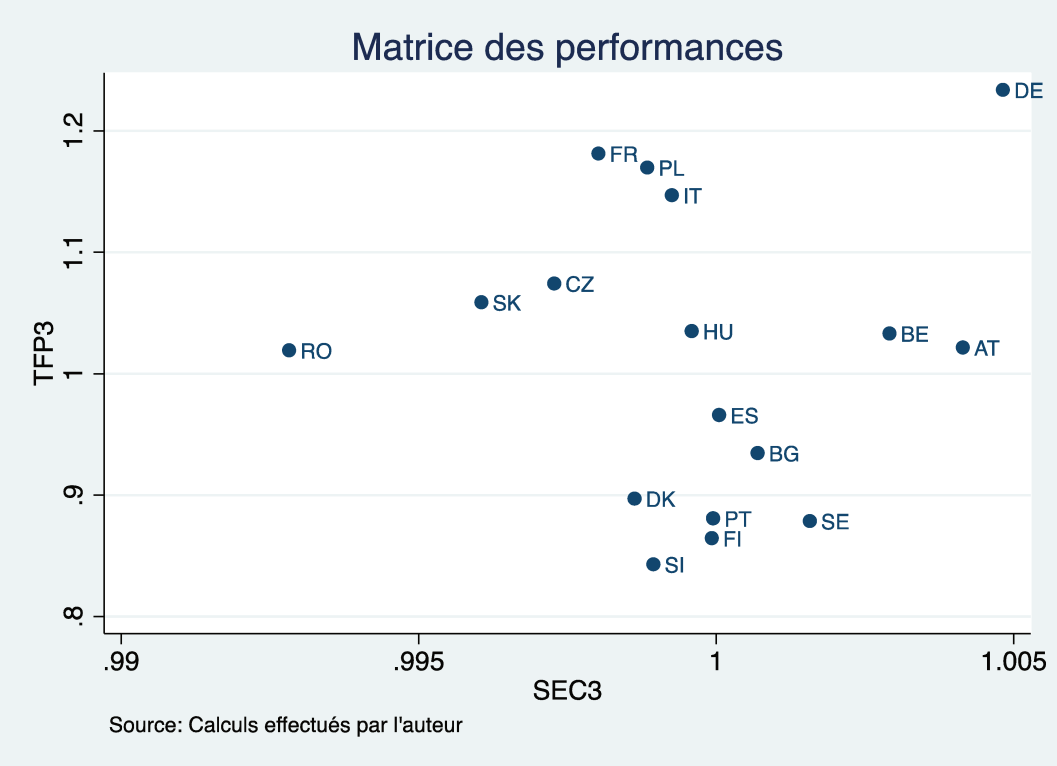


Source: Calculs effectués par l'auteur

Annexe 3-31 : Variation de la productivité totale 3 et ses facteurs

PRODUCTIVITE TOTALE ET SES COMPOSANTS PAR REGION				
	TC3	TEC3	SEC3	TFP3
Septentrionale				
Danemark	0.8903125	1.010369	0.9986279	0.8971123
Finlande	0.8699081	0.9938911	0.9999254	0.8645969
Suède	0.8724418	1.004553	1.001573	0.8786875
Orientale				
Bulgarie	0.9566425	0.9775169	1.000696	0.9346718
République tchèque	1.098959	0.9797104	0.9972779	1.074323
Hongrie	1.010313	1.025012	0.9995884	1.035118
Pologne	1.141345	1.025242	0.998841	1.169783
Roumanie	1.067264	0.9613493	0.9928212	1.019283
Slovaquie	1.041797	1.020411	0.9960537	1.058836
Slovénie	0.8426713	1.001431	0.9989437	0.8430639
Méridionale				
Italie	1.134028	1.011623	0.9992544	1.147029
Portugal	0.8739918	1.008063	0.9999476	0.8809431
Espagne	0.9630201	1.00274	1.000049	0.9660318
Occidentale				
Autriche	1.018498	0.9995097	1.004144	1.021648
Belgique	1.036118	0.9940936	1.002912	1.033159
France	1.175503	1.006636	0.9980206	1.181365
Allemagne	1.237115	0.9927433	1.004817	1.233753

Annexe 3-32 : Matrice des performances TFP3 et SEC3



Annexe 3-33 : Déterminants de la performance

Indicateurs	Formules	Année	EST	Variation (%)	NORD	Variation (%)	OUEST	Variation (%)	SUD	Variation (%)	Total	Variation (%)
Nombre de voyageurs en train	VO/POP	1997	12.48	-28.83	16.38	37.45	16.85	46.17	10.58	1.65	13.75	12.25
		2011	8.89		22.52		24.63		10.75		15.43	
Distance moyenne annuel par habitant	VOKM/POP	1997	680.94	-29.47	811.43	30.21	931.40	26.13	507.44	0.82	722.08	4.25
		2011	480.25		1056.54		1174.82		511.62		752.76	
Nombre de tonne par train	TONKM/TRAINKMF	1997	552.26	8.25	462.73	18.55	391.39	54.69	331.72	42.25	446.72	25.65
		2011	597.80		548.57		605.45		471.86		561.28	
Nombre de voyageurs par train	VOKM/TRAINKMV	1997	131.07	-35.02	109.35	-4.77	121.83	6.70	131.31	3.48	125.12	-11.29
		2011	85.17		104.13		129.99		135.88		111.00	
Part de marché voyageurs	VOKMFer/VOKMtotal	1997	10.18	-31.87	5.20	40.27	37.00	32.16	17.35	7.64	17.30	13.50
		2011	6.94		7.29		48.89		18.68		19.63	
Part de marché fret	TONKMfer/TONKMtotal	1997	23.12	-25.65	10.34	12.42	37.45	17.12	10.14	-12.94	21.18	-3.15
		2011	17.19		11.62		43.86		8.83		20.52	
Transport grande vitesse	VOKM TGV/VOKMfer	1997	0.00	28.50	0.69	156.05	12.74	99.58	1.85	224.23	6.18	68.28
		2011	0.29		1.77		25.42		6.00		10.41	

Annexe 4-34 : Valeurs des effets marginaux des modèles 1 à 4

VARIABLES	MODELE 1	MODELE 2	MODELE 3	MODELE 4
	EP	EC	ET	PTF
COM	3,95E-05	5,14E-05	1,33E-04	1,65E-04
TRF	-1,27E-04	4,14E-04	3,28E-04	2,91E-05
TRV	-2,57E-04	1,82E-03	2,61E-03	1,05E-03
GDP	1,20E-06	-1,76E-07	2,58E-06	-5,39E-06
DSP	8,44E-05	1,19E-04	7,52E-05	1,25E-03
TDEN	-4,27E-07	-2,82E-06	7,10E-07	7,84E-06
TSTRUCT	-2,45E-01	-1,62E-01	-1,42E+00	-1,80E-01
SUPERF	2,96E-08	-7,93E-08	-4,39E-07	4,34E-07
PLE	-6,24E-03	-1,50E-01	-3,50E-02	-1,92E-01
PMaF	-2,47E-01	1,84E-02	-6,79E-01	4,17E-01
PMaV	5,64E-01	-1,19E+00	1,62E+00	4,47E-01
PMF	-1,27E-05	-6,86E-05	4,81E-04	-5,92E-05
PMV	-8,08E-04	-5,92E-04	-2,02E-03	-2,39E-04
TREND	-9,00E-04	-5,75E-03	-6,78E-03	-3,74E-03

Annexe 4-35 Valeurs des effets marginaux des modèles 5 à 8

VARIABLES	MODELE 5	MODELE 6	MODELE 7	MODELE 8
	EP	EC	ET	PTF
LIB	3,78E-05	4,74E-05	1,24E-04	1,68E-04
TRF	-1,21E-04	4,23E-04	3,48E-04	5,38E-05
TRV	-2,91E-04	1,77E-03	2,49E-03	9,23E-04
GDP	1,05E-06	-3,71E-07	2,08E-06	-6,09E-06
DSP	8,96E-05	1,24E-04	9,15E-05	1,27E-03
TDEN	-3,43E-07	-2,69E-06	1,01E-06	8,11E-06
TSTRUCT	-2,36E-01	-1,50E-01	-1,39E+00	-1,43E-01
SUPERF	2,68E-08	-8,24E-08	-4,47E-07	4,18E-07
PLE	-4,62E-03	-1,47E-01	-2,89E-02	-1,87E-01
PMaF	-2,34E-01	3,40E-02	-6,37E-01	4,78E-01
PMaV	6,15E-01	-1,12E+00	1,79E+00	6,63E-01
PMF	1,88E-05	-2,91E-05	5,84E-04	8,05E-05
PMV	-7,90E-04	-5,69E-04	-1,96E-03	-1,68E-04
TREND	-1,39E-03	-6,33E-03	-8,30E-03	-6,10E-03

Bibliographie

Aigner, Dennis, C.A.Knox Lovell, and Peter Schmidt. 1977. "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models." *Journal of Econometrics* 6 (1): 21–37.

Asmild, Mette, Torben Holvad, Jens Leth Hougaard, and Dorte Kronborg. 2009. "Railway Reforms: Do They Influence Operating Efficiency?" *Transportation* 36 (5): 617–38.

Atkinson, Scott E., and Christopher Cornwell. 1998. "Estimating Radial Measures of Productivity Growth: Frontier vs Non-Frontier Approaches." *Journal of Productivity Analysis* 10 (1): 35–46.

Baltagi, Badi H., and James M. Griffin. 1988. "A General Index of Technical Change." *Journal of Political Economy* 96 (1): 20–41.

Baltagi, Badi H., James M. Griffin, and Daniel P. Rich. 1995. "The Measurement of Firm-Specific Indexes of Technical Change." *The Review of Economics and Statistics* 77 (4): 654–63.

Barro, Robert J., and Xavier I. Sala-i-Martin. 1995. *Economic Growth*. 2nd edition. Cambridge, Mass: The MIT Press.

Barro, Robert, and Xavier Sala-i-Martin. 1991. "Convergence across States and Regions." *Brookings Papers on Economic Activity* 22 (1): 107–82.

Barro, Robert, and Xavier Sala-i-Martin. 1992. "Convergence." *Journal of Political Economy* 100 (2): 223–51.

Berger, Roland. 2012. "The Optimal Setup of a Rail System:vergleicht Bahnstrukturen."

Bernard, Andrew B., and Steven N. Durlauf. 1991. "Convergence of International Output Movements." Working Paper 3717. National Bureau of Economic Research.

Bernard, Andrew B., and Steven N. Durlauf. 1995. "Convergence in International Output." *Journal of Applied Econometrics* 10 (2): 97–108.

Bitzan, John D. 2003. “Railroad Costs and Competition: The Implications of Introducing Competition to Railroad Networks.” *Journal of Transport Economics and Policy* 37 (2): 201–25.

Bitzan, John D., and Theodore E. Keeler. 2003. “Productivity Growth and Some of Its Determinants in the Deregulated U.S. Railroad Industry.” *Southern Economic Journal* 70 (2): 232–53.

Bougna, Emmanuel, and Yves Crozet. 2014. “Beyond the ‘bundling vs Unbundling’ Controversy: What Is at Stake for the French Railway?” *Research in Transportation Economics*, 393–400.

Boussemart, Jean-Philippe, and Dhafer Saidane. 2005. “Convergence et Performances Des Systèmes Bancaires Des Pays de l’OCDE*.” *L’Actualité Economique* 81 (4): 617–64.

Canova, Fabio, and Albert Marcet. 1995. “The Poor Stay Poor: Non-Convergence across Countries and Regions.” Economics Working Paper 137. Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra.

Cantos, Pedro, and Joaquín Maudos. 2001. “Regulation and Efficiency: The Case of European Railways.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 35 (5): 459–72.

Cantos, Pedro, José M. Pastor, and Lorenzo Serrano. 1999a. “Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: A Non-Parametric Approach.” *Transportation* 26 (4): 337–57.

Cantos, Pedro, José Manuel Pastor, and Lorenzo Serrano. 2010. “Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and Its Effects on Productivity.” *Journal of Transport Economics and Policy* 44 (2): 139–60.

Cantos Sánchez, P. 2001a. “Vertical Relationships for the European Railway Industry.” *Transport Policy* 8 (2): 77–83.

Cantos Sanchez, P., and J. Maudos Villarroya. 2000. “EFFICIENCY, TECHNICAL CHANGE AND PRODUCTIVITY IN THE EUROPEAN RAIL SECTOR: A STOCHASTIC FRONTIER APPROACH.” *International Journal of Transport Economics* 27 (1).

Caves, Douglas W., and Laurits R. Christensen. 1980. “The Relative Efficiency of Public and Private Firms in a Competitive Environment: The Case of Canadian Railroads.” *Journal of Political Economy* 88 (5): 958–76.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Swanson. 1980. “Productivity in U.S. Railroads, 1951-1974.” *The Bell Journal of Economics* 11 (1): 166–81.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Swanson. 1981. “Productivity Growth, Scale Economies, and Capacity Utilization in U.S. Railroads, 1955-74.” *The American Economic Review* 71 (5): 994–1002.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Swanson. 1981. “Economic Performance in Regulated and Unregulated Environments: A Comparison of U.S. and Canadian Railroads.” *The Quarterly Journal of Economics* 96 (4): 560–81.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Michael W. Tretheway. 1984. “Economies of Density versus Economies of Scale: Why Trunk and Local Service Airline Costs Differ.” *The RAND Journal of Economics* 15 (4): 471.

Charnes, A, W. W Cooper, B Golany, L Seiford, and J Stutz. 1985. “Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions.” *Journal of Econometrics* 30 (1–2): 91–107.

Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes. 1978. “Measuring the Efficiency of Decision Making Units.” *European Journal of Operational Research* 2 (6): 429–44.

Christensen, Laurits R., Dale W. Jorgenson, and Lawrence J. Lau. 1971. “Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function.” *ResearchGate* 39 (January).

Coelli, Tim, and Sergio Perelman. 1999a. “A Comparison of Parametric and Non-Parametric Distance Functions: With Application to European Railways.” *European Journal of Operational Research* 117 (2): 326–39.

Coelli, Tim, and Sergio Perelman. 2000. “Efficiency Measurement, Multiple-Output Technologies and Distance Functions: With Application to European Railways.” *Applied Economics*, no. 32.

COM. 2014. “RAPPORT DE LA COMMISSION AU CONSEIL ET AU PARLEMENT EUROPÉEN Quatrième Rapport Sur Le Suivi de L’évolution Du Marché Ferroviaire.” COM/2014/0353.

Cowie, Jonathan, and Geoff Riddington. 1996. “Measuring the Efficiency of European Railways.” *Applied Economics* 28 (8): 1027–35.

Crozet, Pr Yves. 2016. “Introducing Competition in the European Rail Sector,” Assessing regulatory changes in the transport sector, 6-7 October 2016, Stockholm, .

Crozet, Y. 2013. “Coûts de Transaction, Coûts de Production, Capture… Comment Remettre Sur Les Rails Le Système Ferroviaire Français ? | Ville, Rail & Transports.”

Debreu, Gerard. 1951. “The Coefficient of Resource Utilization.” *Econometrica* 19 (3): 273–92.

Desmaris, Christian. 2010a. “Le transport ferroviaire régional de voyageurs en France : à la lumière de la théorie néo-institutionnaliste et des comptes de surplus.” Phdthesis, Université Lumière - Lyon II.

Desmaris, Christian.2010b. “La régionalisation ferroviaire en France : une première évaluation par la méthode des comptes de surplus.” *Revue d’économie industrielle*, no. 131 (September): 69–104.

Desmaris, Christian. 2014. “Une réforme du transport ferroviaire de voyageurs en Suisse : davantage de performances sans concurrence ?” *Les Cahiers scientifiques du transport*, no. 65: 67–96. 00955291/document.

Drew, J, and C. A. Nash. 2011. “Vertical Separation of Railway Infrastructure - Does It Always Make Sense.”

Driessen, Gertjan, Mark Lijesen, and Machiel Mulder. 2006. “The Impact of Competition on Productive Efficiency in European Railways.” CPB Discussion Paper 71. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.

Duranton, Sylvain, Agnès Audier, and Joël Hazan. 2012. “European Railway Performance Index: Understanding What Drives High Performance.”

ECMT. 2000. *Méthodes d’analyses comparatives dans les transports Méthodologies, applications et données nécessaires:* OECD Publishing.

ECMT, UN Organization for Economic Cooperation and Development. 2004. *Regulatory Reform of Railways in Russia*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

El Arbi Chaffai, Mohamed. 1989. “Estimation de frontières de production et de l’inefficacité technique. Application aux entreprises tunisiennes.” *Économie & prévision* 91 (5): 67–73.

Färe, Rolf. 1975. “Efficiency and the Production Function.” *Zeitschrift Für Nationalökonomie / Journal of Economics* 35 (3/4): 317–24.

Färe, Rolf, Shawna Grosskopf, Björn Lindgren, and Pontus Roos. 1994. “Productivity Developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index Approach.” In *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*, 253–72. Springer Netherlands.

Färe, Rolf, and C. A Knox Lovell. 1978. “Measuring the Technical Efficiency of Production.” *Journal of Economic Theory* 19 (1): 150–62.

Färe, Rolf, and Daniel Primont. 1995. *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Farrell, M. J. 1957. “The Measurement of Productive Efficiency.” *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 120 (3): 253.

Fielding, Gordon J., Timlynn T. Babitsky, and Mary E. Brenner. 1985. “Performance Evaluation for Bus Transit.” *Transportation Research Part A: General* 19 (1): 73–82.

Filippini, Massimo, and Rico Maggi. 1993. “Efficiency and Regulation in the Case of the Swiss Private Railways.” *Journal of Regulatory Economics* 5 (2): 199–216.

Friebel, Guido, Marc Ivaldi, and Catherine Vibes. 2005. “Railway (De)Regulation: A European Efficiency Comparison.” SSRN Scholarly Paper ID 505302. Rochester, NY: Social Science Research Network.

Frisch, R. 1964. *Theory of Production*. Springer Science & Business Media.

Fuss, Catherine. 1999. “Mesures et tests de convergence : une revue de la littérature.” *Revue de l’OFCE* 69 (1): 221–49.

Galor, Oded. 1996. “Convergence? Inferences from Theoretical Models.” *The Economic Journal* 106 (437): 1056–69.

Gathon, Henry-Jean, and Sergio Perelman. 1989. “Etude Comparative Des Performances Des Societes De Chemins De Fer*.” *Annals of Public and Cooperative Economics* 60 (1): 61–80.

Greene, Willam. 2005. “Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models.” *Journal of Productivity Analysis* 23 (1): 7–32.

Greene, William H. 1980. “Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Functions.” *Journal of Econometrics* 13 (1): 27–56.

Greene, William H. 2008. “The Econometric Approach to Efficiency Analysis.” In *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change*, edited by Harold O. Fried, C. A. Knox Lovell, and Shelton S. Schmidt, 92–250. Oxford University Press.

Growitsch, Christian, and Heike Wetzel. 2007. “Testing for Economies of Scope in European Railways: An Efficiency Analysis.” Working Paper Series in Economics 72. University of Lüneburg, Institute of Economics.

Harmey, C., and C. Hemat. 1985. “La méthode des surplus de productivité globale. Son application à la SNCF.” *Revue générale des chemins de fer* 104: 651–56.

Hart, Peter E. 1995. “Galtonian Regression Across Countries and the Convergence of Productivity†.” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 57 (3): 287–93.

Hénin, Pierre-Yves, and Yannick Le Pen. 1995. “Les épisodes de la convergence européenne.” *Revue économique* 46 (3): 667–77.

Hubert HANENEL. 2009. “La Libéralisation Des Transports Ferroviaires Dans l’Union Européenne.” 220 (2008-2009).

IBM, Deutschland GmbH, and Christian Kirchner. 2004. “Rail Liberalisation Index 2004.” Brussels.

IBM, Deutschland GmbH, and Christian Kirchner. 2007. “Rail Liberalisation Index 2007.” Brussels.

IBM, Deutschland GmbH, and Christian Kirchner. 2011. “Rail Liberalisation Index 2011.” Brussels.

Ivaldi, Marc, and Gerard J. McCullough. 2004. “Subadditivity Tests for Network Separation with an Application to U.S. Railroads.” SSRN Scholarly Paper ID 556781. Rochester, NY: Social Science Research Network.

Jensen, Arne, and Petra Stelling. 2007. “Economic Impacts of Swedish Railway Deregulation: A Longitudinal Study.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43 (5): 516–34.

Kabasakal, Ali, Aziz Kutlar, and Murat Sarikaya. 2013. “Efficiency Determinations of the Worldwide Railway Companies via DEA and Contributions of the Outputs to the

Efficiency and TFP by Panel Regression." *Central European Journal of Operations Research*, April, 1–20.

Kearney, A .T. 2009. "Rail Freight: Returning to Profitability." /paper/-/asset_publisher/dVxv4Hz2h8bS/content/rail-freight-returning-to-profitability/10192,

Kim, M., and S. Kim. 2001. "AN ANALYSIS OF THE COST STRUCTURE OF A SEOUL'S RAIL TRANSIT PROPERTY: A STOCASTIC FRONTIER APPROACH." In .

Kleinová, Eliška. 2016. "Does Liberalization of the Railway Industry Lead to Higher Technical Effectiveness?" *Journal of Rail Transport Planning & Management* 6 (1): 67–76.

Koopmans, TC. 1951. "Activity Analysis Production Allocation - AbeBooks."

Ksoll, Markus. 2004. "Integration of Infrastructure and Transport: An Assessment from Industrial Economics and Railway Perspectives." In .

Lamarlière, Isabelle Géneau de, and Jean-François Staszak. 2000. *Principes de géographie économique*. Editions Bréal.

Lan, Lawrence W., and Erwin T. J. Lin. 2006. "Performance Measurement for Railway Transport: Stochastic Distance Functions with Inefficiency and Ineffectiveness Effects." *Journal of Transport Economics and Policy* 40 (3): 383–408.

Laroche, Florent. 2013. "Les Causes Contestables de La Chute Du Fret Ferroviaire."

Laroche, Florent, T Vanelsander, and E Voorde. 2016. "Competition in a Network Industry: The Case of the European Rail Freight Market."

Leibenstein, Harvey. 1966. "Allocative Efficiency vs. 'X-Efficiency.'" *The American Economic Review* 56 (3): 392–415.

Li, Lan-bing, and Jin-Li Hu. 2011. "Efficiency and Productivity of the Chinese Railway System: Application of a Multi-Stage Framework." *African Journal of Business Management* 5 (22): 8789.

Loizides, John, and Efthymios G. Tsionas. 2002. "Productivity Growth in European Railways: A New Approach." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 36 (7): 633–44.

Louis-André, Vincent. 1971a. “Documents du C.E.R.C. - Productivité globale et comptes de surplus de la S.N.C.F.. no 3-4 3e et 4e trimestres 1969.” *Revue économique* 22

Lovell, C. A. Knox, Peter Travers, Sue Richardson, and Lisa Wood. 1994. “Resources and Functionings: A New View of Inequality in Australia.” In *Models and Measurement of Welfare and Inequality*, edited by Professor Dr Dr h c Wolfgang Eichhorn, 787–807. Springer Berlin Heidelberg.

Matsushima, Noriaki, and Fumitoshi Mizutani. 2011. “Market Size and Vertical Structure in the Railway Industry.” SSRN Scholarly Paper ID 1943251. Rochester, NY: Social Science Research Network.

Meeusen, Wim, and Julien van Den Broeck. 1977. “Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error.” *International Economic Review* 18 (2): 435.

Merkert, Rico, Andrew S. J. Smith, and Chris A. Nash. 2010. “Benchmarking of Train Operating Firms – a Transaction Cost Efficiency Analysis.” *Transportation Planning and Technology* 33 (1): 35–53.

“MÉTHODES D A NALYSES CO M PARATIVES DANS LES TRANSPORTS. Méthodologies, Applications & Données Nécessaires.” 2016. Accessed August 20.

Mizutani, Fumitoshi, and Kiyoshi Nakamura. 2004. “The Japanese Experience with Railway Restructuring.” NBER Chapters. National Bureau of Economic Research, Inc.

Mizutani, Fumitoshi, and Kenichi Shoji. 2004. “Rail Operation–infrastructure Separation: The Case of Kobe Rapid Transit Railway.” *Transport Policy* 11 (3): 251–63.

Mizutani, Fumitoshi, and Shuji Uranishi. 2012. “Does Vertical Separation Reduce Cost? An Empirical Analysis of the Rail Industry in European and East Asian OECD Countries.” *Journal of Regulatory Economics* 43 (1): 31–59.

Nash, C. 1997. “The Separation of Operations from Infrastructure in the Provision of Railway Services (ECMT, Ed.).” In . OECD Paris.

Nash, C. A. 1981. “Government Policy and Rail Transport in Western Europe.” *Transport Reviews* 1 (3): 225–50.

Nash, Chris, and Jonathan Preston. 1994a. “Railway Performance—how Does Britain Compare?” *Public Money & Management* 14 (4): 47–53.

Nash, Chris, and Jonathan Preston. 1994. 1994b. “Railway Performance—how Does Britain Compare?” *Public Money & Management* 14 (4): 47–53.

Newbery, David M. 1999. “Privatization, Restructuring, and Regulation of Network Utilities.” *ResearchGate*, January.

Nodjitidjé, Djimasra. 2011. “Décomposition de L’indice de Productivité de Malmquist t: Une Application Sur Un Échantillon Des Pays Africains

Oum, Tae Hoon, W. G. Waters II, and Chunyan Yu. 1999. “A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport.” *Journal of Transport Economics and Policy* 33 (1): 9–42.

Oum, Tae Hoon, and Chunyan Yu. 1994. “Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy: A Comparative Study of the OECD Countries’ Railways.” *Journal of Transport Economics and Policy* 28 (2): 121–38.

Pedro, Cantos Sánchez, Serrano Martínez Lorenzo, and Pastor Monsálvez José Manuel. 2012. “Productivity and Deregulation in European Railways.” Working Paper 2012124. Fundacion BBVA / BBVA Foundation.

Pedro, Cantos Sánchez, Pastor Monsálvez José Manuel, and Serrano Martínez Lorenzo. 2008. “Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector: Effects on Productivity.” Working Paper 201065. Fundacion BBVA / BBVA Foundation.

Perelman, Sergio. 1986. “Frontières d’efficacité et performance technique des chemins de fer.” *Annals of Public and Cooperative Economics = Annales de l’Economie Publique, Sociale et Coopérative*.

Pesqueux, Yvon. 2004. “La notion de performance globale.” *LA NOTION DE PERFORMANCE GLOBALE*, December.

Pham, Vinh. 2013. “The Liberalization of Rail Transport in the European Union.” *Economics Honors Papers. Paper 10.*

Pitfield, David, and Kenneth John Button, eds. 1985. *International Railway Economics : Studies in Management and Efficiency*. Aldershot Brookefield: Gower.

Pittman, Russell. 2001. “Vertical Restructuring of the Infrastructure Sectors of Transition Economies.” Industrial Organization 111002. EconWPA.

Porcelli, Francesco. 2009. "Measurement of Technical Efficiency. A Brief Survey on Parametric and Non-Parametric Techniques." *University of Warwick* 11.

Quah, Danny. 1993a. "Galton's Fallacy and Tests of the Convergence Hypothesis." *The Scandinavian Journal of Economics* 95 (4): 427–43.

Quah, Danny. 1993b. "Empirical Cross-Section Dynamics in Economic Growth." *European Economic Review* 37 (2): 426–34.

Quah, Danny. 1994. "One Business Cycle and One Trend from (Many,) Many Disaggregates." *European Economic Review* 38 (3–4): 605–14.

Quah, Danny T. 1996. "Empirics for Economic Growth and Convergence." *European Economic Review* 40 (6): 1353–75.

Rees, Ray. 1976. *Public Enterprise Economics*. Weidenfeld and Nicolson.

Richmond, J. 1974. "Estimating the Efficiency of Production." *International Economic Review* 15 (2): 515–21.

Ritter, Christian, and Léopold Simar. 1997. "Pitfalls of Normal-Gamma Stochastic Frontier Models." *Journal of Productivity Analysis* 8 (2): 167–82.

Robert Russell, R. 1985. "Measures of Technical Efficiency." *Journal of Economic Theory* 35 (1): 109–26.

Robert Russell, R. 1990. "Continuity of Measures of Technical Efficiency." *Journal of Economic Theory* 51 (2): 255–67.

Russell, R. Robert. 1988. "On the Axiomatic Approach to the Measurement of Technical Efficiency." In *Measurement in Economics*, edited by Professor Dr Wolfgang Eichhorn, 207–17. Physica-Verlag HD.

SCI-Verkehr GmbH. 2012. "Performance Comparison of Selected European Railway Companies."

Shephard, Ronald William. 1954. "Cost and Production Functions." *Naval Research Logistics Quarterly* 1 (2): 171–171.

Thompson, L. S. 1997. "The Benefits of Separating Rail Infrastructure from Operations." *Public Policy for the Private Sector, World Bank.*, no. 135. /view.aspx?id=372582.

Tirole, Jean. 1993. *Théorie de l'organisation industrielle tome 1*. Paris: Economica.

Tobin, James. 1958. “Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables.” *Econometrica* 26 (1): 24–36.

Transport, European Conference of Ministers of. 2000. *Méthodes d’analyses comparatives dans les transports Méthodologies, applications et données nécessaires: Méthodologies, applications et données nécessaires*. OECD Publishing.

Van de Velde, Didier, Chris Nash, Fumitoshi Mizutani, Mark Lijesen, Frank Zschoche, and Andrew Smith. 2012. “EVES-Rail - Economic Effects of Vertical Separation in the Railway Sector.”

Wetzel, Heike. 2008. “Productivity Growth in European Railways: Technological Progress,Efficiency Change and Scale Effects.” Working Paper Series in Economics 101. University of Lüneburg, Institute of Economics.

World Bank. 2011. “Railway Reform in South East Europe and Turkey : On the Right Track?” 60223. The World Bank.

Yu, Ming-Miin. 2008. “Assessing the Technical Efficiency, Service Effectiveness, and Technical Effectiveness of the World’s Railways through NDEA Analysis.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 42 (10): 1283–94.

Yu, Ming-Miin, and Erwin T. J. Lin. 2008. “Efficiency and Effectiveness in Railway Performance Using a Multi-Activity Network DEA Model.” *Omega*, A Special Issue Dedicated to the 2008 Beijing Olympic Games, 36 (6): 1005–17.

Index des figures

FIGURE 1 : ÉMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DANS L'UE PAR MODE DE TRANSPORT 9
FIGURE 2 : DENSITE DU RESEAU FERRE KM 10
FIGURE 3 : DENSITE DU RESEAU FERRE (KM/1000 KM 2) ET DENSITE DE LA POPULATION (HAB./KM2). 11
FIGURE 4 : ÉVOLUTION DU TRAFIC FRET ET PIB/HBT DES PAYS DE L'UE 28 : BASE 100 = 1995 12
FIGURE 5 : ÉVOLUTION DU TRAFIC DE VOYAGEURS ET PIB/HBT DES PAYS DE L'UE 28: BASE 100=1995 13
FIGURE 6 : CROISSANCE DU TRAFIC FERROVIAIRE FRET ENTRE 1990 ET 2014 14
FIGURE 7 : CROISSANCE DU TRAFIC FERROVIAIRE DE VOYAGEURS ENTRE 1990 ET 2014 14
FIGURE 8 : EVOLUTION DE LA PART DU TRAFIC DE VOYAGEURS « GRANDE VITESSE » 15
FIGURE 9 : CARTE DES PAYS D'EUROPE SUIVANT LE MODELE D'ORGANISATION DES CHEMINS DE FER 18
FIGURE 1-1 : ÉVOLUTION DE LA RECETTE MOYENNE PAR VOYAGEURS-KM 36
FIGURE 1-2 : ÉVOLUTION DE LA RECETTE MOYENNE PAR TONNE KM 38
FIGURE 1-3 : ÉVOLUTION DE LA RECETTE MOYENNE PAR UNITE DE TRAFIC 39
FIGURE 1-4 : ÉVOLUTION DE LA RECETTE MOYENNE PAR TRAIN KM 40
FIGURE 1-5 : ÉVOLUTION DE PART DES CHARGES DU PERSONNEL DANS LE COUT D'EXPLOITATION 40
FIGURE 1-6 : ÉVOLUTION DE PART DU COUT DES CONSOMMATIONS ET MATIERES PREMIERES 42
FIGURE 1-7 : ÉVOLUTION DU SALAIRE MOYEN PAR EMPLOYE 43
FIGURE 1-8 : ÉVOLUTION DU COUT TOTAL PAR TRAIN KM 44
FIGURE 1-9 : ÉVOLUTION DU COUT PAR UNITE DE TRAFIC 45
FIGURE 1-10 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE VOYAGEURS KM ENTRE 1990 ET 2012 46
FIGURE 1-11 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE TONNE KM 48
FIGURE 1-12 : EVOLUTION DU NOMBRE DE VOYAGEURS PAR TRAIN 49
FIGURE 1-13 : EVOLUTION DU NOMBRE DE TONNE PAR TRAIN 50
FIGURE 1-14 : EVOLUTION DE LA PART DE MARCHE DU TRANSPORT DE FRET 52
FIGURE 1-15 : EVOLUTION DES PART DE MARCHE DU TRANSPORT DE VOYAGEURS 52
FIGURE 1-16 : EVOLUTION DU NOMBRE DE TRAIN KM DE VOYAGEURS 54
FIGURE 1-17 : EVOLUTION DU NOMBRE TRAIN KM FRET (EN MILLIONS) 55
FIGURE 1-18 : EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE PHYSIQUE DU TRAVAIL (EN UNITE DE TRAFIC) 56
FIGURE 1-19 : EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE PHYSIQUE DU TRAVAIL (EN TRAINS-KM) 57
FIGURE 1-20 : EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE DES LOCOMOTIVES (EN MILLION D'UNITES DE TRAFIC) 58
FIGURE 1-21 : EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE PHYSIQUE DES VOITURES 59
FIGURE 1-22 : EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE PHYSIQUE DES WAGONS 60
FIGURE 1-23 : ÉVOLUTION DU RATIO D'EXPLOITATION 61
FIGURE 1-24 : ÉVOLUTION DU RATIO D'AUTONOMIE FINANCIERE 62
FIGURE 1-25 : ÉVOLUTION DU TAUX D'ENDETTEMENT 63
FIGURE 2-1 : MESURE DE L'EFFICACITE TECHNIQUE ET ALLOCATIVE 70
FIGURE 2-2 : LES FAMILLES DES FRONTIERES 72
FIGURE 2-3 : FONCTION DISTANCE ORIENTEE OUTPUT ET ENSEMBLE DE PRODUCTION 76

FIGURE 3-1 : SCHEMA D'ANALYSE DES PERFORMANCES DES COMPAGNIES FERROVIAIRES 102
FIGURE 3-2 : ÉVOLUTION DES EFFICACITES ENTRE 1997 ET 2011. 120
FIGURE 3-3 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 1 ET SES COMPOSANTS ENTRE 1997 ET 2011 122
FIGURE 3-4 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 3 ET SES COMPOSANTS ENTRE 1997 ET 2011 125
FIGURE 3-5 : EFFICACITE PRODUCTIVE MOYENNE PAR PAYS 129
FIGURE 3-6 : ÉVOLUTION DE L'EFFICACITE PRODUCTIVE PAR REGION 130
FIGURE 3-7 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 1 PAR REGION 133
FIGURE 3-8 : MOYENNE DE LA VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 1 PAR PAYS ENTRE 1997 ET 2011 133
FIGURE 3-9 : HISTOGRAMME DES EFFICACITES COMMERCIALES MOYENNES PAR PAYS 135
FIGURE 3-10 : ÉVOLUTION DE L'EFFICACITE MOYENNE COMMERCIALE PAR REGION 136
FIGURE 3-11 : HISTOGRAMME DE L'EFFICACITE TECHNIQUE 138
FIGURE 3-12 : ÉVOLUTION DES MOYENNES DES EFFICACITES TECHNIQUES PAR REGION 139
FIGURE 3-13 : HISTOGRAMME DES VALEURS MOYENNES DE LA VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 3 141
FIGURE 3-14 : VARIATION MOYENNE DE LA PRODUCTIVITE TOTALE DES FACTEURS 3 142
FIGURE 3-15 : ÉVOLUTION DES DISPARITES ENTRE 1997 ET 1991 (ECHANTILLON TOTAL) 151
FIGURE 3-16 : ÉVOLUTION DES DISPARITES ENTRE 1997 ET 1991 (EP) 152
FIGURE 3-17 : ÉVOLUTION DES DISPARITES ENTRE 1997 ET 1991 (ET) 152
FIGURE 3-18 : ÉVOLUTION COMPAREE DE L'EFFICACITE PRODUCTIVE ENTRE 1997 ET 2011 153
FIGURE 3-19 : ÉVOLUTION COMPAREE DE L'EFFICACITE TECHNIQUE ENTRE 1997-2011 154
FIGURE 3-20 : ÉVOLUTION DES DISPARITES ENTRE 1997 ET 1991 (EC) 155
FIGURE 3-21 : ÉVOLUTION COMPAREE DE L'EFFICACITE COMMERCIALE 156
FIGURE 3-22 : MATRICE DES PERFORMANCES, EFFICACITE COMMERCIALE ET EFFICACITE PRODUCTIVE 158
FIGURE 3-23 : MATRICE DES PERFORMANCES, EFFICACITE COMMERCIALE ET EFFICACITE TECHNIQUE 158
FIGURE 3-24 : MATRICE DES PERFORMANCES, TFP1 ET TC1 159
FIGURE 3-25 : MATRICES DES PERFORMANCES, TFP1 ET TEC1 160
FIGURE 3-26 : MATRICE DES PERFORMANCES, TFP1 ET SEC1 160
FIGURE 4-1: DATE DE LIBERALISATION DU FRET FERROVIAIRE EUROPEEN 171
FIGURE 4-2 : LIBERALISATION DU TRANSPORT FERROVIAIRE DE VOYAGEURS EN EUROPE 172
FIGURE 4-3 : STRUCTURE DU MARCHE FERROVIAIRE 173
FIGURE 4-4 : OCTROIS DE LICENCES NOTIFIES PAR L'AFE ET DES INSTANCES NATIONALES (2012) 174
FIGURE 4-5 : LE NOMBRE DE COMPAGNIES FERROVIAIRES ACTIVES 174
FIGURE 4-6 : NUAGE DE POINTS ENTRE EP ET COM 193
FIGURE 4-7 : NUAGE DES POINTS ENTRE EC ET COM. 195
FIGURE 4-8 NUAGE DES POINTS ENTRE ET ET COM. 196
FIGURE 4-9 : NUAGE DE POINTS ENTRE LA VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE ET COM 197
FIGURE 4-10 : NUAGE DE POINT ENTRE EP ET LIB 198
FIGURE 4-11 : NUAGE DE POINT ENTRE EC ET LIB 198
FIGURE 4-12 : NUAGE DE POINT ENTRE ET ET LIB 200
FIGURE 4-13 : NUAGE DE POINT ENTRE LA VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE ET LIB 200

Index des annexes

ANNEXE 1-1 : INDICE DU NOMBRE VOYAGEURS-KM 223
ANNEXE 1-2 : INDICE DU NOMBRE DE VOYAGEURS PAR TRAIN 223
ANNEXE 1-3 : INDICE DU NOMBRE DE TONNES-KM 223
ANNEXE 1-4 : INDICE DU NOMBRE DE TONNES PAR TRAIN 224
ANNEXE 1-5 : ÉVOLUTION DE L'INDICE DE LA RECETTE MOYENNE PAR VOYAGEUR-KM 224
ANNEXE 1-6 : INDICE DE LA PART DES CHARGES DE PERSONNEL 225
ANNEXE 1-7 : EVOLUTION DE L'INDICE DE LA PART DU COUT DES CONSOMMATIONS ET CHARGES EXTERNES 225
ANNEXE 1-8 : EVOLUTION DE L'INDICE DU COUT PAR TRAIN-KM 226
ANNEXE 1-9 : EVOLUTION DE L'INDICE DU COUT PAR UNITE DE TRAFIC 226
ANNEXE 1-10 : EVOLUTION DE L'INDICE DU NOMBRE DE TRAINS-KM DE VOYAGEURS 227
ANNEXE 1-11 : EVOLUTION DE L'INDICE DU NOMBRE DE TRAINS-KM DE FRET 227
ANNEXE 1-12 : EVOLUTION DE L'INDICE DE LA PRODUCTIVITE DU TRAVAIL (EN TRAINS-KM) 228
ANNEXE 1-13 : EVOLUTION DE L'INDICE DE LA PRODUCTIVITE DU TRAVAIL (EN UNITE DE TRAFIC) 228
ANNEXE 1-14 : EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE PHYSIQUE DES LOCOMOTIVES 229
ANNEXE 1-15 : EVOLUTION DE L'INDICE DE PRODUCTIVITE DES VOITURES 229
ANNEXE 1-16 : EVOLUTION DE L'INDICE DU RATIO D'EXPLOITATION 230
ANNEXE 1-17 : EVOLUTION DE L'INDICE DU TAUX D'ENDETTEMENT 230
ANNEXE 1-18 : EVOLUTION DE L'INDICE DE PRODUCTIVITE DES WAGONS 231
ANNEXE 1-19 : EVOLUTION DE LA RECETTE MOYENNE PAR TONNE-KM 231
ANNEXE 1-20: TEST DE COMPARAISON DES POPULATIONS PAR ANNEE (RECETTE MOYENNE VOYAGEUR-KM) 232
ANNEXE 1-21 : TEST DE COMPARAISON DES POPULATIONS PAR ANNEE DU NOMBRE DE TONNES-KM 233
ANNEXE 3-1 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'EFFICACITE PRODUCTIVE 233
ANNEXE 3-2 : ÉVOLUTION DE L'EFFICACITE PRODUCTIVE EN BASE 100 = 1 997 234
ANNEXE 3-3 : VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 1 ET SES COMPOSANTS 234
ANNEXE 3-4 : ÉVOLUTION DE L'EFFICACITE COMMERCIALE BASE 100 = 1 997 235
ANNEXE 3-5 : STATISTIQUE DESCRIPTIVE DE L'EFFICACITE COMMERCIALE 235
ANNEXE 3-6 : ÉVOLUTION DE L'EFFICACITE TECHNIQUE BASE 100 = 1 997 236

ANNEXE 3-7 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'EFFICACITE TECHNIQUE 236
ANNEXE 3-8 : MATRICE DES PERFORMANCES : TFP3 ET TC3 237
ANNEXE 3-9 : MATRICE DES PERFORMANCES : TEC3 ET TFP3 237
ANNEXE 3-10 : VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 3 ET SES FACTEURS 238
ANNEXE 3-11 : MATRICE DES PERFORMANCES TFP3 ET SEC3 238
ANNEXE 3-12 : DETERMINANTS DE LA PERFORMANCE 239
ANNEXE 4-1 : VALEURS DES EFFETS MARGINAUX DES MODELES 1 A 4 239
ANNEXE 4-2 VALEURS DES EFFETS MARGINAUX DES MODELES 5 A 8 240

Index des tableaux

TABLEAU 1-1 : **RESULTAT DU TEST DE COMPARAISON DES POPULATIONS DE KRUSKAL-WALLIS** 35
TABLEAU 1-2 **RESULTAT DU TEST DE COMPARAISON DES POPULATIONS DE KRUSKAL-WALLIS (RECETTE MOYENNE PAR TONNES-KM)** 37
TABLEAU 1-3 : **TEST DE COMPARAISON DU NOMBRE DE TONNES-KM** 47
TABLEAU 1-4: **TEST DE COMPARAISON DU NOMBRE DE VOYAGEURS PAR TRAIN** 49
TABLEAU 2-1 : **QUELQUES RESULTATS EMPIRIQUES OBTENUS GRACE AUX FRONTIERES NON PARAMETRIQUES** 87
TABLEAU 2-2 QUELQUES RESULTATS EMPIRIQUES OBTENUS GRACE AUX MODELES DE FRONTIERES DETERMINISTES 92
TABLEAU 2-3 : QUELQUES RESULTATS EMPIRIQUES OBTENUS GRACE AUX MODELES DE FRONTIERES STOCHASTIQUES 94
TABLEAU 3-1 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES VARIABLES SUR LA PERIODE 1997-2011 107
TABLEAU 3-2 : **PARAMETRES ESTIMES DE LA FRONTIERE D'EFFICACITE COMMERCIALE** .. 116
TABLEAU 3-3 : **PARAMETRES ESTIMES DE LA FRONTIERE D'EFFICACITE PRODUCTIVE** 117
TABLEAU 3-4 : **PARAMETRES ESTIMES DE LA FRONTIERE D'EFFICACITE TECHNIQUE** 118
TABLEAU 3-5 **: RESULTATS DU TEST DE LA SOMME DES RANGS DE WILCOXON** 119
TABLEAU 3-6 : **CORRELATION DE SPEARMAN** 119
TABLEAU 3-7 : VALEUR MOYENNE DE LA VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 1 ET SES COMPOSANTS 123
TABLEAU 3-8 : CORRELATION DE SPEARMAN 1 123

TABLEAU 3-9 : VALEUR MOYENNE DE LA VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 3 ET SES COMPOSANTS 126
TABLEAU 3-10 : CORRELATION DE SPEARMAN 3 127
TABLEAU 3-11 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'EFFICACITE PRODUCTIVE 128
TABLEAU 3-12 : **TEST DE COMPARAISON DES DISTRIBUTIONS D'EFFICACITE PRODUCTIVE PAR REGION** 129
TABLEAU 3-13 : **STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE LA VARIATION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 1** 131
TABLEAU 3-14 : **STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'EFFICACITE COMMERCIALE** 134
TABLEAU 3-15 **: TEST DE COMPARAISON DES DISTRIBUTIONS D'EFFICACITE COMMERCIALE PAR REGION** 134
TABLEAU 3-16 : **STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'EFFICACITE TECHNIQUE** 137
TABLEAU 3-17 **: TEST DE COMPARAISON DES EFFICACITES TECHNIQUES** 137
TABLEAU 3-18 : **STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE LA PRODUCTIVITE TOTALE 3** 140
TABLEAU 3-19 : **RESULTATS DU TEST DE KRUSKAL-WALLIS** 140
TABLEAU 3-20 : **RESULTATS DE LA β-CONVERGENCE DES DIFFERENTES FORMES D'EFFICACITE POUR L'ECHANTILLON TOTAL** 148
TABLEAU 3-21 **RESULTATS DE LA β-CONVERGENCE DES DIFFERENTES FORMES D'EFFICACITE POUR L'ECHANTILLON 1** 149
TABLEAU 3-22 **RESULTATS DE LA β-CONVERGENCE DES DIFFERENTES FORMES D'EFFICACITES POUR L'ECHANTILLON 2** 150
TABLEAU 4-1 **: STATISTIQUES DESCRIPTIVES** 190
TABLEAU 4-2 : **STATISTIQUES DESCRIPTIVES (SUITE)** 191
TABLEAU 4-3 : **STATISTIQUES DESCRIPTIVES (SUITE ET FIN)** 193
TABLEAU 4-4 : **RESULTATS DU TEST DE LA VARIANCE DU FACTEUR D'INFLATION (COM)** . 202
TABLEAU 4-5 **: RESULTATS DU TEST DE LA VARIANCE DU FACTEUR D'INFLATION (LIB)** ... 203
TABLEAU 4-6 : MODELES TOBIT (COM) 209
TABLEAU 4-7 : MODELE TOBIT (LIB) 210
TABLEAU 4-8 : RESULTATS DU TEST DE LA VARIANCE DU FACTEUR D'INFLATION (LIB ET COM) 211
TABLEAU 4-9 : MODELE TOBIT AVEC CONTROLE DES VARIABLES LIB ET COM 212

Table des matières

DEDICACE **3**

Remerciements **4**

Sommaire **6**

Introduction générale : La problématique du transport ferroviaire **9**

Chapitre 1 La politique ferroviaire de l'Union européenne à la lumière des performances des 4 « majors ». **22**

Introduction **22**

1.1. Analyse comparée des performances des chemins de fer : une approche théorique **25**

1.1.1. Définition des concepts 25

a. La performance 25

b. Qu'est-ce que l'analyse comparative ? 25

1.1.2. Choix des compagnies à comparer 25

1.1.3. Choix des indicateurs. 28

1.1.3.1. Les indicateurs de performance économique 28

1.1.3.1.1. La structure des recettes 28

a. Le trafic. 29

b. La tarification 29

c. Les subventions. 29

1.1.3.1.2. La structure des coûts 30

1.1.3.2. Les indicateurs de performance commerciale 31

1.1.3.3. Les indicateurs de performance productive 32

1.1.3.4. Les indicateurs de performance financière 33

1.2. Analyse comparée des performances des chemins de fer : un calcul formel des indicateurs **34**

1.2.1. Données 34

1.2.2. Les indicateurs de performance économique 34

1.2.2.1. Les indicateurs de la structure des recettes. 34

a. La recette moyenne par voyageurs-km 35

b. La recette moyenne par tonne km. 36

c. Produit par unité de production 38

1.2.2.2. Indicateurs de la structure des coûts 39

a. L'évolution du poids des charges du personnel dans le coût total. 39

b. Évolution de la part des consommations et charges externes. 41

c. Évolution du salaire annuel moyen 42
d. Évolution du coût total par unité de production 43
1.2.3. Les indicateurs de performance commerciale 45
1.2.3.1. Analyse du trafic commercialisé ou de la demande 46
a. Le nombre de voyageurs-km 46
b. Le nombre de tonnes-km. 47
1.2.3.2. Analyse de l'utilisation des capacités 48
a. Le nombre de voyageurs par train. 48
b. Le nombre de tonnes par train. 50
1.2.3.3. Les indicateurs de parts de marché 51
a. La part de marché du transport ferroviaire de marchandises 51
b. La part de marché du transport ferroviaire de voyageurs 51
1.2.4. Les indicateurs de performance productive 53
1.2.4.1. Analyse du trafic. 53
a. Le nombre de trains-km de voyageurs. 53
1.2.4.2. Les indicateurs de mesure de la productivité. 55
a. La productivité du facteur travail. 55
b. Productivité du matériel moteur. 57
c. Productivité des voitures 58
d. La productivité des wagons. 59
1.2.5. Analyse de la performance financière 60
a. Le ratio d'exploitation. 60
b. Le ratio d'autonomie financière 61
c. Le taux d'endettement. 63
Conclusion du premier chapitre 64
Chapitre 2 Frontières de production et mesure des performances : approche théorique et résultats empiriques 66
Introduction 66
2.1. Les fondements théoriques de la performance productive 67
2.1.1. L'analyse microéconomique de la performance 69
2.1.1.1. Définition des concepts 69
2.2. Les instruments d'analyse des performances productive 71
2.2.1. Les frontières paramétriques 72
2.2.1.2. Modélisation des frontières paramétriques. 72
a. Cas d'un output 72
b. Cas de plusieurs outputs. 74
2.2.1.2. Les techniques d'estimation 78
a. Les moindres carrés corrigés (MCC) 78

b. Le maximum de vraisemblance. 79
2.2.2. Mesure de la productivité totale des facteurs et ses composants. 80
a. Le changement d'efficacité technique (TEC). 81
b. Le changement de technologie 81
c. Le changement d'efficacité d'échelle. 82
2.3. **Analyse des performances des chemins de fer : un regard sur le passé. 82**
2.3.1. Quelques résultats empiriques obtenus à l'aide des méthodes non paramétriques 83
2.3.2. Quelques résultats empiriques obtenus à l'aide des méthodes paramétriques 88
2.3.2.1. Les frontières déterministes 88
2.3.2.2. Les frontières stochastiques 91
Conclusion du second chapitre 96
Chapitre 3 - Mesure de l'efficacité de certains pays européens : une estimation paramétrique de la fonction distance 98
Introduction 98
3.1 Schéma d'analyse des performances des chemins de fer 100
3.2 Méthodologie. 102
3.2.1 Description de l'échantillon 102
3.2.2 Description des données et définition des variables 103
3.2.3 Présentation des modèles empiriques 108
3.2.3.1 La frontière d'efficacité productive. 108
3.2.3.2 La frontière d'efficacité commerciale. 111
3.2.3.3 La frontière d'efficacité technique 113
3.3 Analyse et interprétation des résultats 113
3.3.1 Validation des modèles 114
3.3.2 Analyse globale 116
3.3.2.1 Analyse de l'évolution moyenne des efficacités. 120
3.3.2.2 Analyse de la productivité totale et ses composants. 121
3.3.2.2.1 Analyse de la productivité totale 1 (TFP1) 121
3.3.2.2.2 Analyse de la productivité totale 3 (TFP3) 124
3.3.3 Analyse comparative 127
3.3.3.1 Efficacité productive 128
3.3.3.2 Productivité totale 1 130
3.3.3.3 Efficacité commerciale 134
3.3.3.4 Efficacité Technique 136
3.3.3.5 Variation de la productivité totale 3 140
3.4 Mesure et test de convergence 145
3.4.1 Les indicateurs de mesure de la convergence 145

3.4.2 Le test de la β– convergence 147
3.4.2.1 Résultat du test de la β-convergence pour l'échantillon 1 149
3.4.2.2 Résultat du test de la β-convergence pour l'échantillon 2 150
3.4.3 Test de la σ–convergence 150
Conclusion du troisième chapitre 161
Chapitre 4 - Concurrence et libéralisation des activités ferroviaires : quelles conséquences pour les performances des compagnies ferroviaires ? 164
Introduction 164
4.1. Le processus de libéralisation des activités ferroviaires : état des lieux 165
4.1.1 Qu'entend-t-on exactement par libéralisation du transport ferroviaire ? 165
4.1.2 Comment quantifier le degré de libéralisation 167
4.1.3 Evolution du processus de libéralisation en Europe. 168
4.1.4 Le processus de libéralisation des activités ferroviaires dans l'Union Européenne: où en sont les Etats membres. 169
4.1.4.1 La structure des entreprises ferroviaires 169
4.1.4.2 Le degré d'ouverture du marché ferroviaire à la concurrence 170
4.2 Les effets de la libéralisation des activités ferroviaires sur les performances des chemins de fer : revue de la littérature 175
4.2.1 L'impact de la séparation verticale et du libre accès sur la performance des compagnies ferroviaires 175
4.2.1.1 Quelques résultats en défaveur d'une structure verticalement séparée 175
4.2.1.2 Quelques défenseurs d'une structure verticalement séparée 179
4.2.1.3 Quelques études neutres sur le sujet 181
4.2.2 Libéralisation et concurrence des chemins de fer : quel impact sur les performances... 184
4.3 Méthodologie et analyses descriptives 186
4.3.1 Modèle 186
4.3.2 Technique d'estimation 187
4.3.3 Analyse descriptive 188
a. Variables de contrôle 188
b. Les variables à tester 189
c. Les données 190
4.4 Analyse et interprétation des résultats 201
4.4.1 Validation des modèles 201
4.4.2 Analyse des déterminants des performances : les variables de contrôle. 203
4.4.3 Impact de la dynamique concurrentielle sur les performances des chemins de fer. 206

4.4.4 Impact du degré d'ouverture à la concurrence sur les performances des chemins de fer. 207

Conclusion et implications pour les politiques publiques. 213

Conclusion générale 216

Annexes 223

Bibliographie 241

Index des figures 252

Index des annexes 254

Index des tableaux 255

Table des matières 257

University Lumière Lyon 2

Doctoral school 486 Economic Sciences and management

Faculty of Economic sciences and management

Transport Urban Planning and Economics Laboratory

How to analyse and model the impacts of liberalization on railways performances?

By Emmanuel BOUGNA

PhD in Economic Sciences

Directed by ***Yves CROZET***

Presented and publicly defended **Friday may 2017**

Jury:

Stéphanie SOUCHE, Professor University of Lyon 2	Chair of the jury
Yves CROZET, Professor University of Lyon 2,	PhD supervisor
François MIRABEL, Professor, University of Montpellier 1	Rapporteur
Thierry VANELSLANDER, Professor, University of Antwerp (Belgium)	Rapporteur
Grégoire MARLOT, Doctor,	Expert

"*University of Lyon intends to give any approval or disapproval to the opinions expressed in this thesis, they must be considered as their author-specific*"

DEDICATIONS

`

My parents Mr. and Mrs. BOUGNA,.
Linda,.
to Christéle,
to Marie-Anaïs,.
to my brothers and sisters.
to all those who are me dear and close.

Thanks

I am pleased to complete today five years of thesis. Although the realization of a thesis has all the appearance of a long lonely academic, various people contributed in varying degrees to the culmination of this sometimes perilous project, with its ups and downs.

I express my deep gratitude to my supervisor Yves Crozet, who agreed to spend his precious time to conduct the work of this thesis. His enlightened comments, advice, availability and encouragement helped me to complete my research work. Thanks to you, my results have been presented, read and discussed at large scientific meetings. I say thank you for your ongoing generosity.

I express my gratitude to all the team of the LAET (Transport Urban Planning and Economics Laboratory) with his head Charles Raux for the warm welcome and for all the support received during these years.

My thanks go to all members of the LAET, especially teachers and Emeritus professors Alain Bonnafous, Bruno Faivre D'Arcier, and Stéphanie Souche, they also go to, the lectures Florent Laroche, Christian Desmaris and Aurélie Mercier, to the researcher Dominique Bouf and the engineer to study, Nicolas Ovtracht. Many discussions we have had and your tips were precious in the realization of this work.

I also think of the administrative staff of the LAET, Sophia El Bahi, Nicole Pravaz, Morgane Deplanque and Martine Sefsaf with whom I shared friendly moments and who indeed helped me and encouraged me. To the valiant and brave companions I met, the PhD students of the LAET, Cécile Chèze, Xavier Compte and Chen Minghui.

As part of TransportNet, my European opening was made possible by teachers Thierry Vanelslander (TPR, University of Antwerp) and Kay Mitusch (Karlsruhe Institute of Technology) who have each welcomed me in their laboratory and made me take advantage of their expertise.

I am also grateful to professors Eddy Van de Voorde and Hilde Meersman (TPR, University of Antwerp). By your comments, tips and suggestions, you have enriched my stay in Antwerp.

My thanks also go to Katrien De Langhe (TPR, University of Antwerp), Yasmine Rashed and Jan Ihrig, (Karlsruhe Institute of Technology) who made my stay possible respectively in Antwerp and Karlsruhe. I thank all PhD students of Antwerp (TPR) and Karlsruhe (KIT) not only for the good working atmosphere, but also for the many good times spent together.

I am very honoured of presence of my jury and I would like to thank:

François Mirabel, Professor at the University of Montpellier 1 for his participation in my thesis Committee as rapporteur of my work for the time he has devoted to the reading of this thesis.

Thierry Vanelslander, Professor at the University of Antwerp, for his participation in my thesis Committee as rapporteur of my work for the time he has devoted to the reading of this thesis.

Stéphanie Souche, Professor at the University of Lyon 2, which has accepted to preside over my thesis jury.

Gregoire Marlot, for agreeing to be a member of my thesis jury as an expert.

The Auvergne-Rhône-Alpes region (ex Rhône-Alpes region), which has agreed to fund the first three years of this thesis

Gérard Brun and Arantxa Julien for the importance they give to the work of PhD students and their animations of the francophone network of socio-economics of transport.

I thank my elder brothers and sisters: Cyril, Virgile, Sylvania, Theophilus and Virginia who have been my unconditional support, what they find here the expression of my love and my attachment to them. At my younger brothers and sisters, Aurélie, Florette, Kepler, let this serve as an example to them and may they find in this the expression of my love for them.

I am indebted to my parents Mr. and Mrs. Bougna who were my guides, supports and and who comfort me in difficult times. Here is the expression of my love for them.

I express my gratitude to my fiancee, Monique Christele, who has been the most consistent and perceptive sting, to bring me to lead this adventure to the end. I think about my children, Linda and Anaïs, who had to accept these stolen times for a cause which made no sense to them.

I would also like to thank the Nya Jomen, Nimpa, Jose and Tchoffo families for the support they have given me. May they find here the expression of my deep gratitude.

Finally I want to thank all those who have believed in me. May those I forgot forgive me! To everyone I express all my gratitude.

Summary

Summary 6
General Introduction: The Rail Transport Problem 9
Chapter-1 European Union Railway Policy: Case of the Performance of the four major 22
Introduction 22
1.1 Benchmarking of Railway Company Performances: a Theoretical Approach 24
1.1.1 Definition of Concepts 24
1.1.2 Choice of Companies to Compare 25
1.1.3 Choice of indicators 27
1.2 Comparative analysis of railway performance: a formal calculation of the indicators 33
1.2.1 Data 33
1.2.2 Economic Performance Indicators 33
1.2.3 Market share indicators 44
1.2.4 Production performance Indicators 52
1.2.5 Financial performance analysis 60
Conclusion of the first chapter 64
Chapitre 2 Production Frontiers and Performance Measurement: Theoretical Approach and Empirical Results 66
Introduction 66
2.1 The Theoretical Foundations of Production Performance 67
2.1.1 Microeconomic Analysis of Production Performance 69
2.2 Instruments of Production Performance Analysis 71
2.2.1 Parametric Frontiers 72
2.2.2 Measurement of Total Factor Productivity and its Components 80
2.3 Railway Performance Analysis: some lessons from the past 82
2.3.1 A Few Empirical Results Obtains Using Non-Parametric Methods 82
2.3.2 Some empirical results obtained using parametric methods 87
Conclusion of the second chapter 95
Chapter-3 Measuring efficiency of certain European countries: a parametric estimation of distance function 97
Introduction 97

3.1 Analytical framework of railway performance 99
3.2 Methodology. 100
3.2.1 Sample description 100
3.2.2 Description of data and definition of variables 102
3.2.3 Presentation of empirical models 106
3.3 Analysis and interpretation of results 111
3.3.1 Diagnostic and validation of models 111
3.3.2 Global analysis 116
3.3.3 Comparative analysis 124
3.4 Measurement and test of convergence 141
3.4.1 Indicators of convergence measurement 141
3.4.2 The convergence β– test 144
3.4.3 Sigma convergence test 147
Conclusion of the third chapter 157
Chapter-4 The impact of competition and liberalisation on railways performances 160
Introduction 160
4.1 The process of liberalising railway activities: a current state 161
4.1.1 What do we mean by liberalisation of railway activities? 161
4.1.2 How to quantify the degree of liberalisation 162
4.1.3 Evolution of the liberalization process in Europe. 163
4.1.4 The process of liberalization of railway activities in the European Union: At what level are Member States? 165
4.2 The effects of the liberalisation on railway performance: literature review 171
4.2.1 The impact of vertical separation and free access on the performance of railway companies 171
4.2.2 Liberalisation and competition in railways: impact on performance 179
4.3 Methodology and descriptive analyses 181
4.3.1 Model 181
4.3.2 Estimation method 182
4.3.3 Descriptive analysis 183
4.4 Analysis and interpretation of results 195
4.4.1 Validation of models 195
4.4.2 Analysis of performance determinants: control variables 197
4.4.3 Impact of competitive dynamics on railway performance 200

4.4.4 Impact of liberalisation on railway performance 200
Conclusion of chapter 4 and implications for public policies 206
General conclusion 209
Appendices 215
Bibliography 233
List of appendices 244
List of figures 245
List of tables 247
Table of contents 249

General Introduction:
The Rail Transport Problem

Rail transport activities cover all passenger and freight services. The infrastructure is the same or similar for these two segments, but the type of transport, equipment and details of these infrastructures are often different. The transporting of passengers includes every movement or traveling of passengers on board a train. The number of passengers carried, the number of passenger/kilometers and the passenger routes are generally used to measure the units of production in this segment. Passenger transportation has two segments, urban and interurban, with the latter segment involving conventional and high-speed trains. In the same vein, the transport of goods concerns all movements of goods on board a train. Its production is evaluated in tons/kilometers or transported tons.

Compared to other modes of transport, rail transport has a number of advantages:

- It is a suitable means of transport for large quantities of goods;
- There is a high level of safety;
- It is a more environment friendly means of transport than air, road or sea (see figure 1).

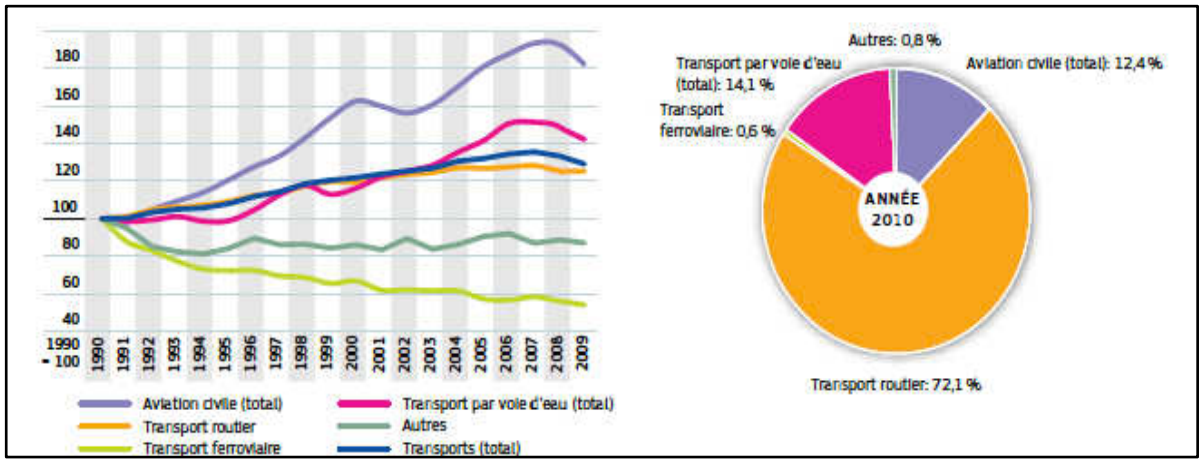


Figure 1: Greenhouse gas emissions in the EU per means of transport
Source: European Commission

Globally, the railway infrastructure covers a vast network, over one million kilometers of route. In Europe (excluding Russia), the infrastructure covers 326,350km of route, about 30% of the global network. Europe has the largest rail network in the world as rail transport is fairly widely used in Europe and the European Union. The largest networks are Germany (33,446km), France (30,013km), Italy (17,017km) and the United Kingdom (15,753km).

The European Union has one of the densest but highly heterogeneous rail transport networks. According to data published by Eurostat in 2012, Luxembourg has the densest rail network with 263km per 1,000 km^2 surface area. Switzerland is second with 124km followed by the Czech Republic (121km). Germany comes fifth with a 115km/1,000 km^2 density and France fifteenth with a density of 53km/1,000 km^2 (see Figure 2).

At this level, one could ponder over the main determinants of the level of investment in railway infrastructure. Is it the density of the population? Is it the area? The geographical structure? Or is it a historical heritage?

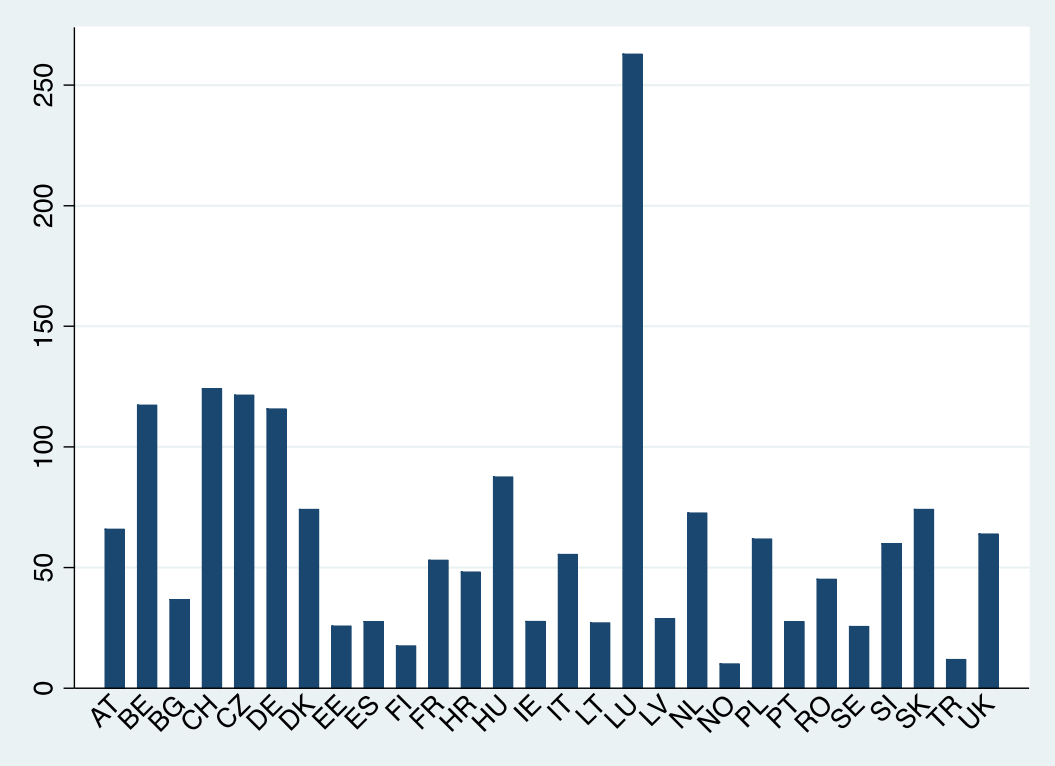


Figure 2: Density of rail network per km
Source: Calculations done by author using Eurostat data

Figure 3 shows that it is difficult to establish, on the one hand, a linear relationship between the population density and the rail network density, and on the other hand between the surface area and the length of the rail network. In other words, population density and surface area do not predict the size of the network. Countries such as Holland, Germany, the United Kingdom and Italy are those with a high population density but a low rail network density. On the other hand, Germany, with an average surface area, compared to France or Turkey, has a large network as compared to Turkey. Similarly, France is more extensive than Germany but its network is smaller. The size of networks depends therefore on historical factors.

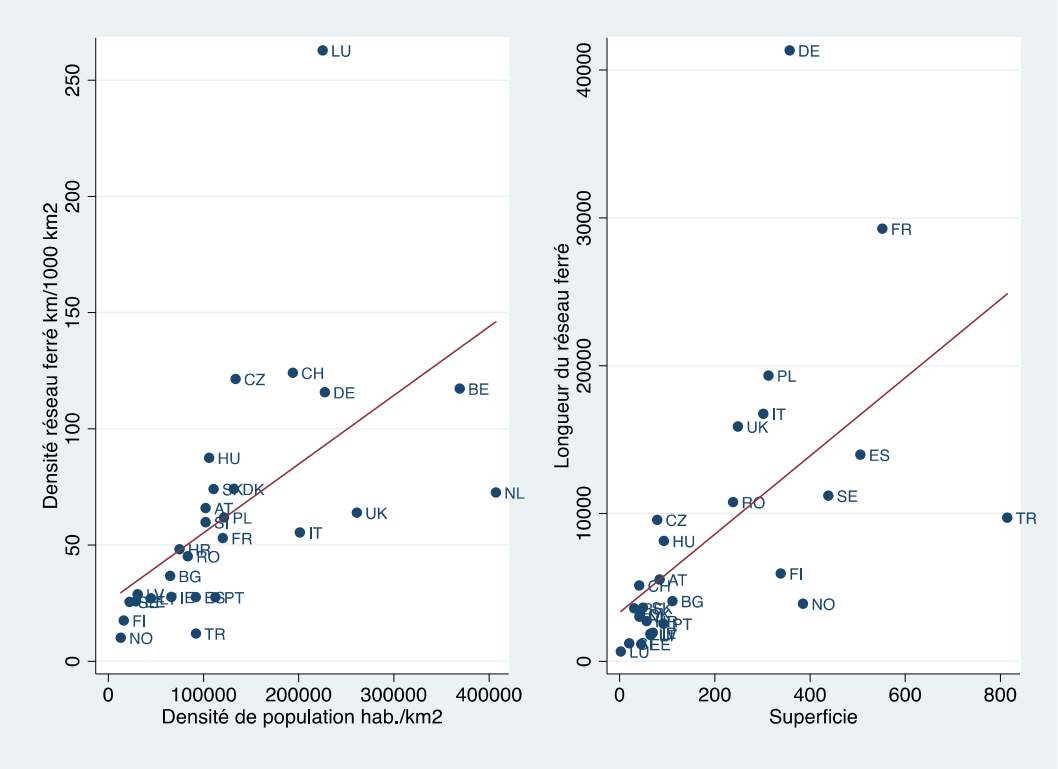


Figure 3: Rail network density (km/1000km^2) and population density (hab./km^2).
Source: Calculations done by author using Eurostat data.

Evolution of Trade and Market Shares

Europe is considered as the cradle of railways, but currently, European rail transport is suffering from competition from road transport, both for passengers and for freight. Although rail transport is much more environment friendly and statistically safer than road transport, it has difficulty standing the competition.

After having accompanied the industrial revolution in the nineteenth century, rail transport has hardly been able to adapt to the challenges presented by road transport over the past hundred years. Since the beginning of the twentieth century, the role of the railways in the transport of goods and passengers has been steadily declining. In European Union countries, it now only provides 6% of passenger transport and 16% of freight transport.

Between 1970 and 1994, however, passenger transport by rail registered a 6% increase, that is, from 330 to 350 billion passengers/km per year. During the same period, notwithstanding, the overall market doubled and the use of individual cars increased by 120%. Meanwhile, the railway lost half its market shares in freight transport from 531 to 380 billion tons/km, a decrease of 31%. The same period registered a global goods market increase by nearly 70% and road transport by almost 150%.

Between 1995 and 2014, there was a gradual pick-up in passenger movement by train. For the 28 countries of the European Union, passenger transport by train has increased from 350 to 428 billion passengers per kilometer, that is, a 22% increase. During the same period, personal car travel increased by 21% + 5% for movements by coach and + 74% for air travel (see Figure 5). Data show that rail transport accounts for an average of 6.5% of total travels. There is thus a strong preference for personal car transport which makes up for about 76% of the traffic.

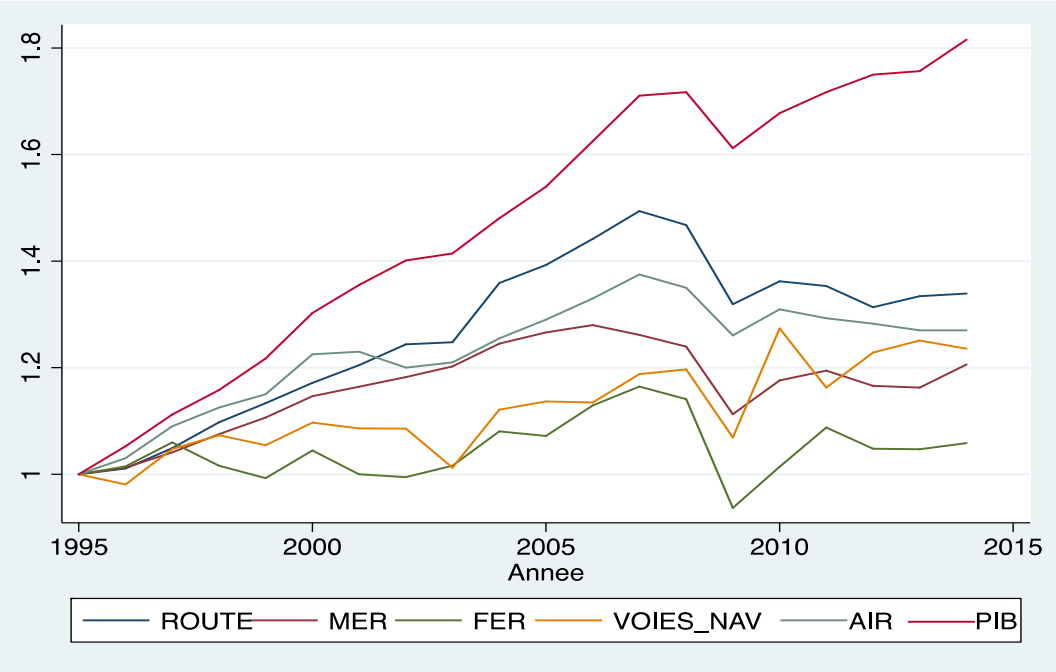


Figure 4: Trends in freight transport and GDP/hbt of 28 EU countries: Base 100 = 1995
Source: Calculations done by author using Eurostat & UIC data.

In the cargo transport segment, railway traffic increased by 6%, road freight by +25%, inland waterways by +23% and air freight by +22% (see figure 4).

Between 1990 and 2014, there was a general decline of 21% in rail freight traffic for all 28 countries of the European Union (see Figure 6). This decline is could be attributed to the decline in traffic in certain countries such as Bulgaria (-75%), Romania (-75%), Luxembourg (-66%), Estonia (-53%), Greece (- 49%), the Czech Republic (-42%), Hungary (-39%) and France (-38%). On the other hand, during the same period, traffic improved for some countries: the Netherlands (+101%), Austria (+69%), Portugal (+67%), Denmark (+42%), Switzerland (+36%) and Germany (+11%).

For the passenger transport business, an average 6% growth was observed for the 28 countries of the European Union (see Figure 7). However, there is a clear decline in Lithuania

(-92%), Latvia (-88%), Romania (-84%), Estonia (-81%), Bulgaria (- 78 %), Croatia (-73%), Poland (-68%), Slovakia (-60%) and Slovenia (-56%), the formerly administered economies. On the other hand, traffic fairly improved in the United Kingdom (+94%), Sweden (+84%), Luxembourg (+76%), Belgium (+68%), Switzerland (+57%), Germany (+47%) and France (+36%).

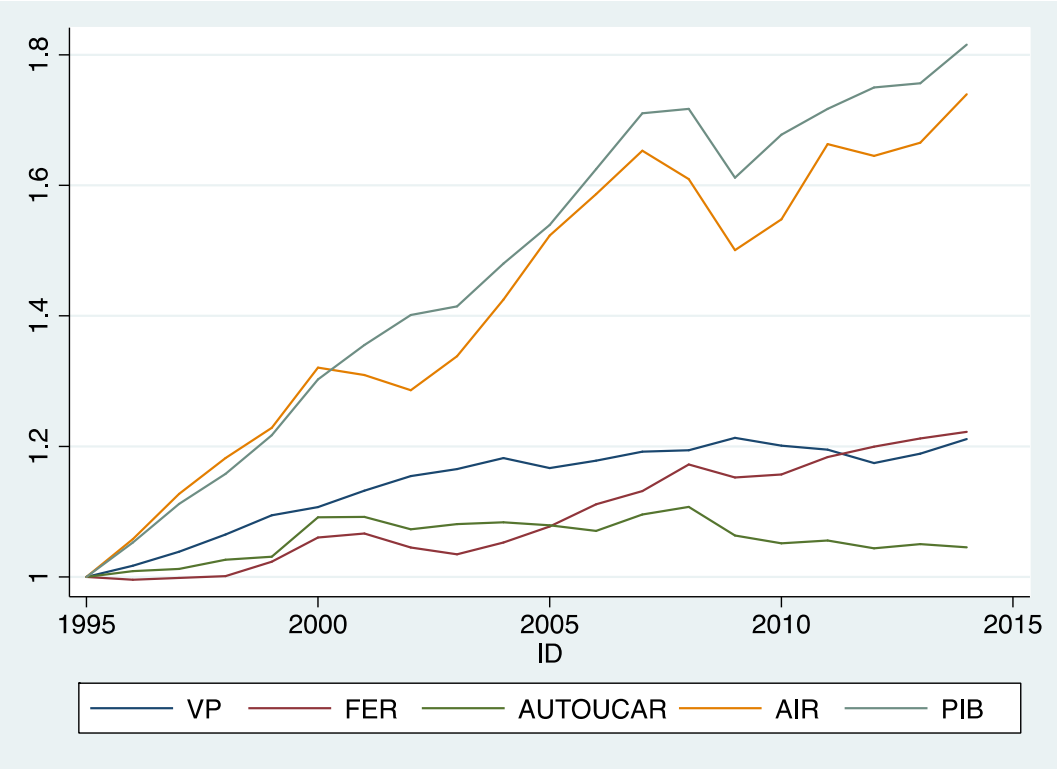


Figure 5: Evolution of passenger traffic and GDP per capita of the 28 EU countries: Basis 100 = 1995
Source: Calculations done by author using Eurostat & UIC data.

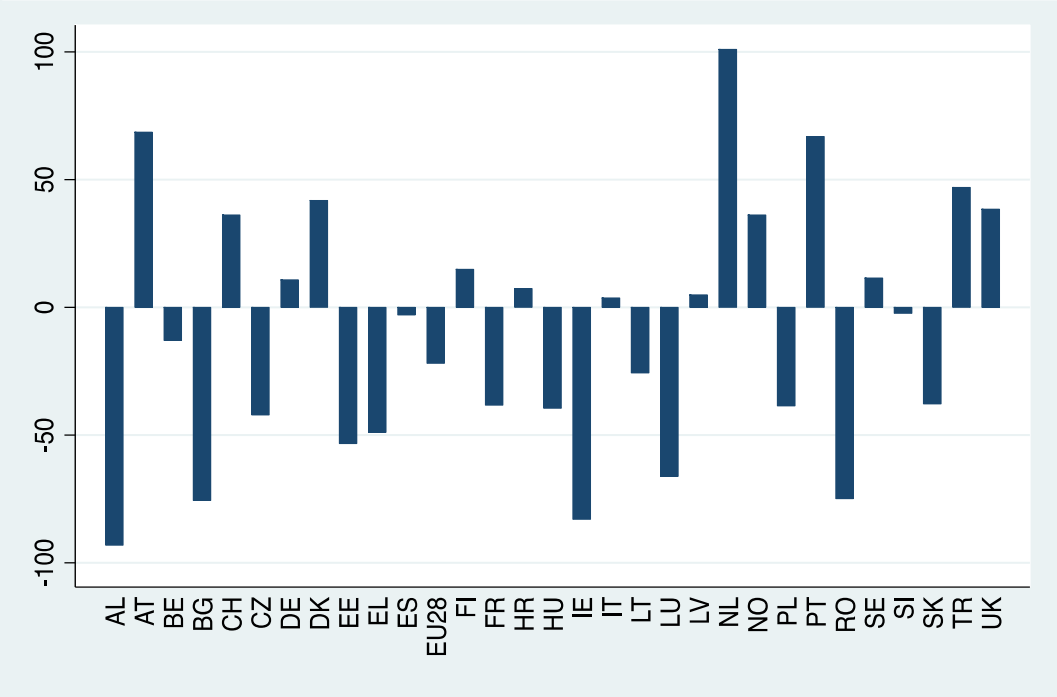


Figure 6: Growth in rail freight traffic between 1990 and 2014
Source: Calculations done by author using Eurostat & UIC data.

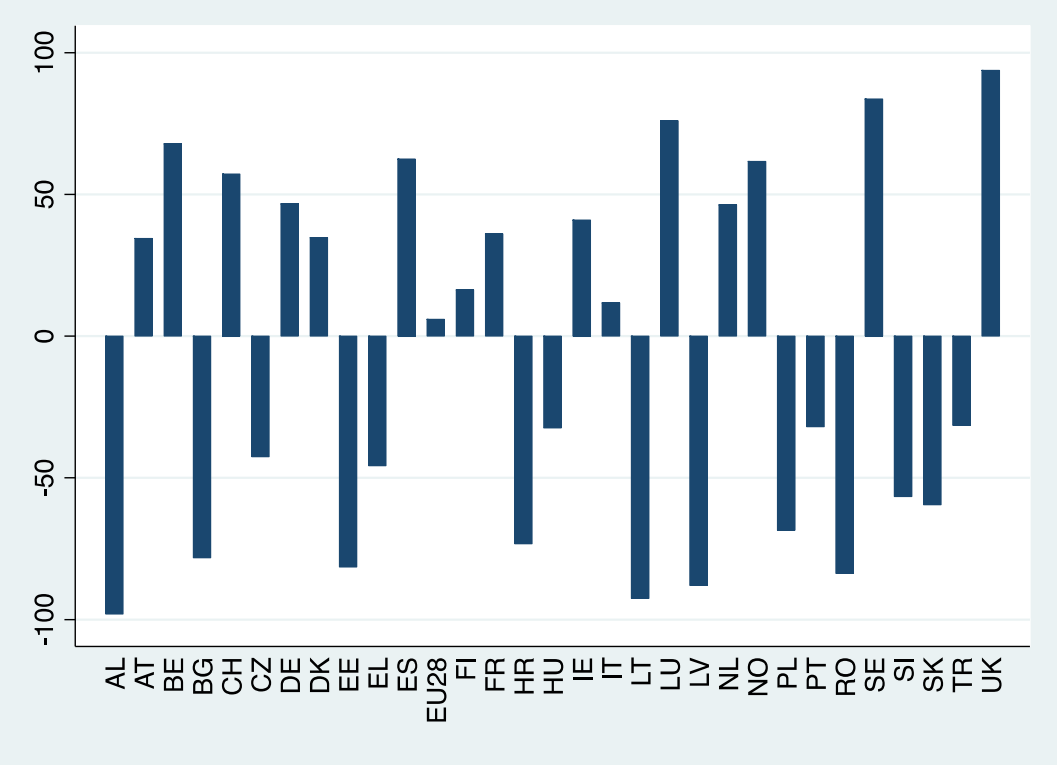


Figure 7: Growth in passenger rail traffic between 1990 and 2014
Source: Calculations done by author using Eurostat & UIC data.

The renewal of European rail transport is also marked by the development of the high-speed train. Total high-speed passenger traffic stands at 15 billion passenger/km in 1990

compared to 111 billion passenger/km in 2014, making for an overall 740% growth. The share of total "high-speed" passenger traffic increased from 4% in 1990 to 25% in 2014 (see figure 8).

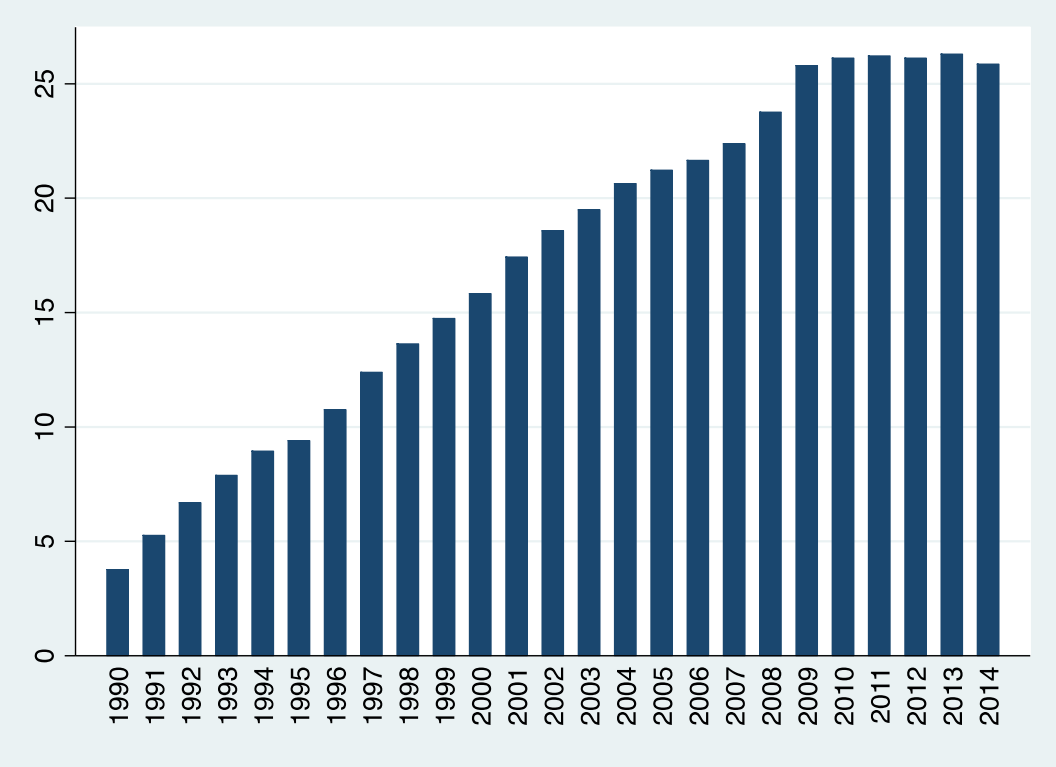


Figure 8: Evolution of "high-speed" passenger traffic shares.
Source: Calculations done by author using Eurostat & UIC data.

Figures 4 and 5 show that, since 1995, traffic for all transport means took an upward trend but with a weak recovery for rail transport. However, this growth was largely offset by the 2008 and 2009 economic recession. From mid-2008, the recession had a major impact on freight transport by rail, influencing all sectors using rail freight services such as mining, steel, chemicals and automotive.

This state of affairs shows that since the beginning of the 1990s, railways have lost market shares and have therefore demanded increasing subsidies. Rail transport has long been a focal point for both national public authorities and European public authorities. The need to improve this situation has led to the development of a wide range of policy options by national and European public authorities.

Twenty years ago, the European Commission (EU, 1996) published a diagnosis and proposals to remedy the decline of the railway and to promote this mode of transport as the backbone of a European policy geared towards reaching a wider market and ensuring sustainable mobility. A vast regulatory program, still underway, was supposed to support this

rail market reform. Directive 91-440, the pioneer and founding directive, gives the desired direction and recommends particularly the promotion of the independent management of infrastructure managers and the railway sector financial consolidation through debt relief. This directive is supplemented by a series of texts grouped into three railway packages whose objective is the creation of an integrated European railway space.

Adopted on 26 March 2001 and enforced since 2003, the first railway package consists of three directives. Directive 2001-12/EC provides for the opening-up of international freight services to the trans-European network, while Directive 2001/14 /EC defines more precisely the task of distributing train paths. The second rail package, consisting of five directives, was adopted in April 2004. The main directive of this rail package is that of 2004/51/EC, with the objective to effectively open international freight to competition on 1 January 2006 and that of domestic freight as from 1 January 2007. Proposed as of 2004 and adopted in 2007, the third railway package consists of four directives, with the main one (Directive 2007/58 / EC) providing for the opening to competition the passenger traffic by 2010.

The transposition of Directives into national law has not been uniform in the Member States. Germany, the United Kingdom and Italy are the countries that opened freight to competition in the mid-1990s, well ahead of the first rail package. On the other hand, in Croatia and Greece, rail freight remains totally closed to competition. As for the passenger transport business, the situation is quite different. Several realities are emerging: the first group includes countries whose free access is guaranteed and active. In this category we can name mainly Germany, the United Kingdom, Hungary, Poland, Austria, Estonia, Slovakia and Sweden. The other situation includes countries whose free access is enshrined in the law without being effective. These include Croatia, Finland, Greece, Norway and Slovenia. In France, only international passenger transport is open to competition.

Railways Governance in Europe

In response to the decline in rail transport, the European Commission has proposed measures for vertical separation between the infrastructure manager and the railway company. The application of Directives 2001/12/EC and 2001/14/EC varies between countries. In the European Union, three organizational models govern the railway industry: full vertical separation, integration, and a hybrid model (see figure 9).

In a vertically separate model, the infrastructure manager is a company totally independent of the one responsible for the provision of railway services. Among the countries that have opted for this model of organization are the Netherlands, Bulgaria, Denmark, Finland, the United Kingdom, Portugal, and Spain.

In a vertically integrated structure, there is a legal and functional separation between infrastructure management and transport operations. However, these two companies are headed by one company, also known as an organization in the form of a holding. Examples include Austria, Germany, Belgium, and Hungary.

Finally, the third organizational model is known as the hybrid model or partial separation. In this approach there is an organizational and legal separation between the infrastructure manager and the railway service provider, but many infrastructure management activities are outsourced to the trains operator. France (until 2015) and the Czech Republic fall under this category.

It is worth noting that each organizational model has advantages and disadvantages. However, opinions remain divided as regards the choice of the best organizational model. National governments and increasingly European public authorities need to determine what is the most efficient and effective form of regulation and ownership for the rail sector (Oum et al., 1999).

Despite numerous reforms undertaken at national and continental (European) levels, rail transport has still not been able to increase its market shares and traffic has not yet reached the level of the 1970s and 1990s. This leads us to question the effectiveness of railway policies in the European Union since the early 1990s. Can they truly redress European rail transport? If so, what obstacles have hitherto limited success? In other words, is there really going to be a single European railway space?

The measurement of railway performance therefore deserves special attention because it allows for parallels with other sectors of the economy and attempts to determine the influence of different institutional arrangements through comparisons over time or with other railways operating under other provisions (ECMT, 2000).

	Separation: BG, DK, ES, FI, GR, NL, NO, PT, RO, SE, SK, GB
	Integrated Model: AT, BE, CH, DE, HU, IE, IT, LT, LU, LV, PL, SI, FR*
	HybridModel FR**, CZ

* From 2015
** Before 2015

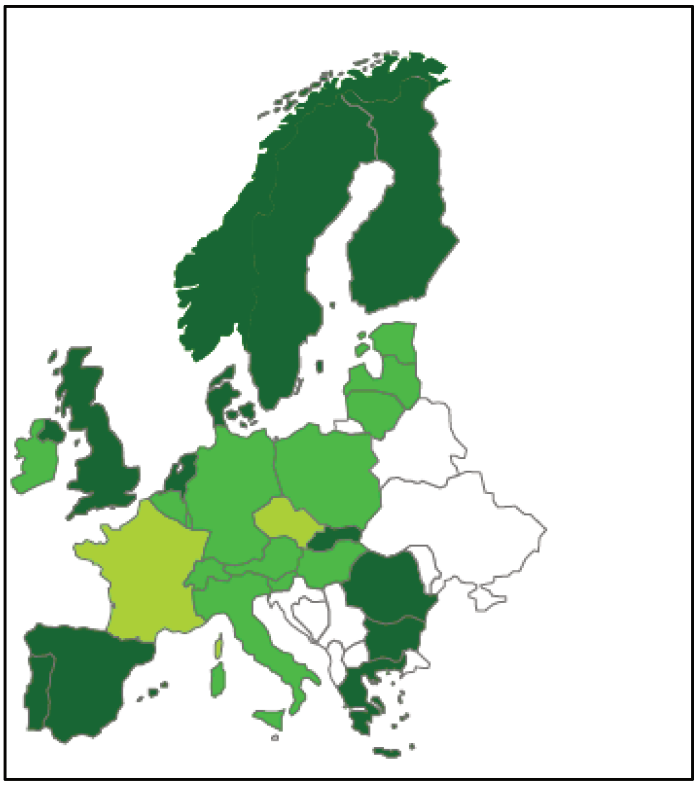


Figure 9: Map of the European countries following the model of railways organization
Sources: IBM, 2011

However, railways have three characteristics that make performance measurement particularly complex: the multiplicity of products; the complex nature of the production process, and particularly the multiplicity of the means of production; related costs and economies of scale, and differences in operating contexts, including geographical factors and government interventions that impede decision-making on a purely commercial basis.

In a fairly heterogeneous environment such as European rail transport, the question arises of how to measure and compare the performance of entities that do not seem to be comparable in the first place.

The aim of this study is to go beyond these limits. Using data processing methods, we do a comparative analysis of railway performance over a period of time.

Positioning and Research Problem

Within the European railway stagnation context, we want to assess railways performance in order to identify the main factors that could prevent the decline. We start from the idea that the railways be outstanding in the production and marketing of the services produced. These hypotheses enable us focus our research on the measurement of three efficiency indicators: productive efficiency, commercial efficiency and technical efficiency.

These rely exclusively on physical quantities of inputs and outputs and thus present an advantage over measures of profitability and cost minimization which involve inputs and outputs in the calculations.

The concept of technical efficiency originated in the work of Koopmans (1951) on production analysis and was used in an empirical framework by Farrell (1957). Since then, several empirical studies have emerged and have developed remarkably. Generally, two econometric approaches are used to evaluate effectiveness: the parametric approach and the nonparametric approach. When a functional form is specified for the production boundary, the approach is called parametric; otherwise it is called a nonparametric boundary. To evaluate the performance of European railway companies, we will use a methodology based on the parametric boundary estimation.

There is another question when practice is involved and this concerns the choice of the boundary: stochastic or deterministic? This is a fundamental issue because the nature of the boundary affects efficiency. Indeed, in the deterministic boundary approach, efficiency is determined by the distance to this boundary. In the stochastic boundary models, on the other hand, the boundary gap is determined by the efficiency level and a term of error. Stochastic boundaries can therefore be considered as composite error models.

The objective of this research, therefore, is to evaluate the performance of the railways through productive efficiency, commercial efficiency, technical efficiency and finally total productivity of factors. Our research problem can be summarized in two main questions: "How can railway performance be evaluated? What are the effects of liberalization on railway performance?"

Questions have been formulated on:

- Tools enabling the evaluation of railway performance.
- The effectiveness of European railway policies and particularly the effects of Directive 91-440, which is the pioneer and founding of the integrated European railway area.
- The impact of the intensity of barriers to entry on railway performance.
- The impact of competitive dynamics on railway company performance.
- The project to create a single European railway space.

These questions require answers provided by us at the end of this research.

Our methodological approach is mainly based on empirical work and documentary research. We have used a panel of 17 European Union countries observed between 1997 and 2011 for

econometric treatments and a panel of 4 railway companies observed between 1990 and 2012 for other comparative analyses. For econometric treatments, our panel was based on two criteria, the availability and the significance of the data. These two criteria allowed us to obtain a sample of 17 countries observed between 1997 and 2011.

Based on this, our research is made up of 4 chapters:

Chapter one will be a comparative analysis of performance of four companies (DB in Germany, SNCF in France, RENFE in Spain and SF in Italy) as observed between 1990 and 2012. The objective here is to measure the effectiveness of Directive 91-440 of 29 July 1991 in relation to the development of community railroads. To achieve this, we shall use a partial productivity indicators calculation approach. These indicators enable us assess productive, commercial, economic and financial performance. Even though these partial productivity measurements are easy to calculate, they are, however, criticized for being too immediate since they fail to give a unique measurement of effectiveness. To settle this limitation, chapter three (3) will be using complex methods, which enable us, have a unique performance indicator.

Chapter two discusses the theoretical framework of technical efficiency, reviews the theoretical foundations, and presents the methodology of the borders. To complete this analysis, we propose a non-exhaustive literature review of empirical studies on railway performance evaluation. Our aim here is therefore to summarize the methods generally used to evaluate performance and discuss the relevance of the choice of a method of railway performance evaluation. Particular emphasis is placed on stochastic parametric boundary models since it is this category that we will use in the next chapter to evaluate railway performance in Europe

In chapter three, we use econometric techniques to estimate the parametric boundary models that we presented in the previous chapter. This chapter has two objectives.

- Three performance indicators (productive efficiency, commercial efficiency and technical efficiency) are used to compare the performance of a panel of 17 European countries observed between 1997 and 2011. The major challenge is to identify the best performing countries and see how this performance has evolved over time.
- The beta convergence and sigma convergence tests are applied to detect the convergence towards the steady state. The objective here is to see if there is a catch-up phenomenon. In other words, these tests enable us answer the following question:

"Can the least performing countries at the beginning of the period catch up with those that performed better at the beginning of the period?"

Finally, **chapter four** analyses the potential correlation between the performance indicators (those calculated in Chapter 3) and the competitive dynamics, on the one hand, and between the same indicators and the degree of openness to competition on the other hand. For this, we estimate a model with limited dependent variables in which performance indicators are used as explanatory variables. As explanatory variables, we use respectively an indicator of the degree of liberalization and an indicator of competitive dynamics. We then add to these two variables a number of economic and environmental variables that will serve as control variables.

The econometric analysis of these results will enable us determine the effectiveness of European railway policies and at the same time judge if the construction of an integrated European railway space is a feasible project. We conclude this study with a general synthesis of results, which also recalls the limits of the work and the other research avenues stemming from our work.

Chapter-1European Union Railway Policy: Case of the Performance of the four major

Introduction

Railway transport has long been a point of particular interest for national public authorities and European public authorities alike. In many countries, while requiring increasing subsidies, rail transport has lost market shares. The need to remedy this situation has led national and European public authorities to reflect on a wide range of avenues for action. Among these, the measurement of the performance of railway companies deserves particular attention, since it makes it possible to draw a parallel with other sectors of the economy and to determine the impact of various institutional measures by operating a comparison over time or with other companies operating under other conditions. Three approaches are generally used for such benchmarking: analysis of partial productivity indicators, total productivity index of factors, and, finally, analysis of surplus accounts.

The first approach was used in particular by the British Railways Board (1979) and by Nash (1985) for international comparisons. Their approach is based on the study of partial productivity indicators. In order to measure the performance of British Railways prior to their disappearance pursuant to the 1994 reform, Nash and Preston (1994) used a series of indicators of partial productivity measures to compare the performance of this company with that of the railway companies of Western Europe. The indicators used for this purpose helped to assess operational, commercial, and financial performance. This study was based on a sample group of fourteen railway companies from Western Europe observed between 1971 and 1991. These authors showed that, during this period, the productivity of the British Railways workforce improved and became superior to that of the other companies in the sample. The analysis of the financial performance indicators showed a higher rate of coverage of operating expenses than the rest of the sample. However, the analysis of the commercial performance shows a rapid loss of market share as compared to the other companies in the sample.

In order to measure the impact of the organisational model of the rail transport system on its performance, Bougna and Crozet (2014) used indicators of partial productivity

measures to compare the productive and financial performance of SNCF in France to those of the DB in Germany. It should be remembered that, before the French rail reform of 2014, the French rail transport system was made up of two main companies, SNCF (transport operator) and RFF (the infrastructure manager). Between these two companies, there was a virtual separation, since SNCF Infra handled maintenance and upkeep of the network on behalf of the RFF. In Germany, the DB (incumbent operator) was organised as a holding company within which DB Netz, the infrastructure manager, operated. The analysis of financial performance shows that there is no significant difference between the DB and SNCF. On the other hand, productive performance indicators show that the productivity of the DB was significantly higher than that of SNCF (Crozet 2016).

The second approach to comparative performance analysis is a comparison of total factor productivity indices. This second approach has been covered in a series of studies by Caves et al., (1981, 1980). Authors who used this approach to assess the performance of railway companies include Cantos et al. (1999), Cantos and Maudos (2001), Cantos Sanchez and Maudos Villarroya (2000), Caves et al. (1981), Cowie and Riddington (1996), Oum et al. (1999), Oum and Yu (1994), Pedro et al. (2012), and Perelman (1986). These studies are essentially based on the parametric or non-parametric estimation of a production possibility frontier. The level of technical efficiency, or the performance of a company, is measured by its position in relation to the frontier. The closer a company is to the production frontier, the more efficient it is. For most of these studies, what matters most is identifying the factors that influence technical efficiency.

A third methodology, known as surplus accounts, aimed at measuring the changes in price frontier and the distribution of global productivity surplus, has also been used, particularly in France (Desmaris, 2010a, 2010b; Harmey and Hemat, 1985; and Louis-André, 1971) and sometimes to study European railway companies (Gathon and Perelman, 1989).

This review of literature, which is not exhaustive, shows that, though using different techniques, several authors have worked on the benchmarking of the performance of railway companies.

Twenty years ago, the European Commission (EU, 1996) circulated a diagnosis and proposals to halt the decline of the railway and to promote this mode of transport as the backbone of a European policy aimed at achieving a significant market and sustainable mobility. A vast regulatory program, still under way, was rolled out to support this drive to reform the structure of the railway transport market. Directive No. 91-440, pioneer and

founding directive, guided the drive and recommended, in particular, the promotion of autonomy in the management of railway undertakings (RU) and the financial consolidation of such, especially their deleveraging.

What has come of it as of today? Does the EU's railway policy show signs of effectiveness? In which country or company in particular? In which area: operational or financial? How can these increases in performance be explained? What are the obstacles?

Our objective here is twofold: to *take stock* of the current situation and to show the *trajectory* of major European railway undertakings between 1990 and 2012, a little before and especially after the railway reforms initiated by the European Commission. For this purpose, we will conduct a benchmarking of the performance indicators calculated for a panel of 4 incumbent operators, which we will refer to as the four "majors"; the DB in Germany, SNCF in France, RENFE in Spain, and the FS in Italy, which were observed between 1990 and 2012.

This chapter will be structured as follows. The first part will be devoted to the methodology used. The focus here is to present the approach employed in the benchmarking, which involves selecting the companies, presenting and comparing the chosen indicators. The analysis and interpretation of results will be carried out in the second section.

1.1 Benchmarking of Railway Company Performances: a Theoretical Approach

1.1.1 Definition of Concepts

a Performance

As a concept, the performance of a company gives rise to questions just like it lends itself to various definitions. Considering that perception of performance has evolved over time, we will start by describing it as based on the value/cost ratio that the company sets out to optimize. A company's performance is based on what contributes to improving its value/cost ratio and, thus, to maximizing net value creation. Several criteria can be used to identify a company with good performance, in other words, a successful company. A successful company:

- lasts long, makes money while being permanently profitable;

- challenges its competitors in terms of quality and speed of service,
- is innovative, efficient, responsive over time;
- creates value while meeting market requirements.

b What is benchmarking*?*

Benchmarking is a process through which the results of an entity (subject railway company) are compared with those of other entities (railway companies to be compared), in order to identify best practices and avenues for improvement. Benchmarking is an old practice, but it was not until the late 1980s that it became a tool used on a regular basis by some companies. The concept of benchmarking was formalised in 1989 by Robert Camp in a book entitled *Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance*. Robert Camp defined the concept as follows: "*Benchmarking* is the search for best practices for a given activity that will ensure superiority." In other words, *benchmarking* is defined as an approach that involves comparing a process with that of companies recognised as the best in the field.

1.1.2 Choice of Companies to Compare

In order to identify best practices and to control factors that management or government cannot influence, the benchmarking must be carried out on railway undertakings with similar characteristics and operating conditions. Several criteria can be considered: the size of the company, the volume and type of traffic, the density of traffic, the nature of the traffic and, finally, the length of the network. We chose the length of the network and the availability of data as selection criteria.

With the first criterion, the potential countries are: Germany (33,505 km), France (30,013 km), Poland (19,617), Italy (16,742 km), the United Kingdom (16,172 km), and Spain (15,664 km). With the second criterion, that of the availability of data over the entire period of the study, our sample is reduced to four countries: Germany (33,505 km), France (30,013 km) Italy (16 742 km), and Spain (15 664 km).

The main railway companies in these countries are the Deutsche Bahn (DB), the French National Railway Company] (SNCF), Ferrovie dello Stato (FS), and the Spanish National Railway Network (RENFE). The main advantage of this sample is its diversity in terms of the organisational model of the rail transport systems. In other words, the

organisation of the rail transport system varies from one country to another, even though this organisation is regulated by the same European Union directives.

In Germany, the Deutsche Bahn was set up on 1 January 1994 following a merger between the Deutsche Bundesbahn and the Deutsche Reichsbahn. The Deutsche Bahn (DB) is a public limited company whose capital is wholly owned by the German Federal Government. It is made up of a holding company that oversees the group's main activities. As an integrated company, the DB operates both as a passenger and freight operator and as a railway infrastructure manager. Germany is one of the most advanced countries in terms of railway transport liberalization. Free access to the market has been enshrined in the law since 1994 and private railway operators can operate on freight lines but also on passenger transport lines at regional or national level. Following the requirements of the first and second railway packages, the German international freight service has been open to competition since 2006, and since 2007, all freight services have been opened to competition. Opening the regional passenger transport sector up to competition was decided in 1994.

In France, the SNCF is the French public railway company, set up on 1 January 1938. It is active in the area of passenger and freight transport, and manages, operates, and maintains the national railway network, which it owns. The French rail transport system has undergone major changes since 1997, with the creation of the *Réseau Ferré de France* [French Rail Network] (RFF). The birth of the RFF established the separation between the infrastructure manager and the railway operator as required by the first railway package. SNCF is the public railway undertaking in charge operating railway activities, and its capital is wholly owned by the French State. Until 2014, RFF was responsible for building and maintaining the rail network, collecting tolls for the use thereof. In practice, the maintenance and operation of the rail network was entrusted by law to the incumbent operator through a mechanism called delegated infrastructure management (GID). In other words, since 1997, SNCF Infra (a branch of the SNCF group) has maintaining and operating the infrastructure on behalf of the RFF. The French rail transport system was reorganized on 1 January 2015. It consists of three public industrial and commercial undertakings (EPIC), SNCF –which is the holding company–, *SNCF Réseau*, and *SNCF Mobilités*. In France, while the freight service is open to competition, the SNCF still holds a monopoly over national passenger rail transport. Although major railway reforms have been carried out in France, the monopoly has become a reality.

Italy is one of the countries that have tried to transpose EU directives at local level. Until 2001, the incumbent operator, Ferrovie dello Stato (FS), operated the Italian rail transport under a monopoly. Pursuant to Directive 91/440/EEC on the development of the Community's railways, Italy *opted* for an organisation in the form of a holding company. The incumbent operator, Ferrovie dello Stato (FS), was split into two separate companies: infrastructure manager Rete Ferroviaria Italiana (RFI), and the operator of transport services (Trenitalia). These two companies are owned by the state-owned company Ferrovie dello Stato, just like in France and Germany. In Italy, although the freight market has been liberalized completely since 2000, rail passenger transport has been implemented mainly in the field of high-speed rails, a unique case in Europe, with the development of the NTV as a company.

Spain's case is peculiar, with its rail network whose track gauge differs from the UIC standard. Between January 1941 (the date RENFE was created) and December 2004, all Spanish rail transport activities were under the responsibility of the RENFE, the public railway undertaking, which held the monopoly. As in the first three countries, the Spanish rail transport system has undergone profound changes, notably with the creation in January 2005 of the Railway Infrastructure Administrator (ADIF). Since 2005, the railway infrastructure has been managed by the public company (ADIF) separated from the national incumbent operator, RENFE. In theory, the sector was opened up to competition as from 2003. In practice, the opening of the market has focused on freight and has remained very limited even though licensed European railway companies officially have unrestricted access to the Spanish rail transport market.

1.1.3 Choice of indicators

The benchmarking is based mainly on the assessment and measurement of a company's main results against the comparable results of other reference companies, and on the identification of measures likely to make a difference in terms of productivity. It is considered as a means of facilitating comparisons between undertakings and, in time, within a single undertaking (Report of the Annual Conference of Ministers of Transport, 2000, p.131).

To carry out a benchmarking exercise, it is important to determine beforehand the indicators that will be used in the comparison process. The choice of these indicators depends on the objective of the comparison. For instance, if the comparison involves a general review

of operations, the process will begin with a comparison of the financial indicators followed by a comparison of the productivity of each major railway resource (labour, track, locomotive, carriage, and car).

As in the study by Nash and Preston (1994), the indicators selected for this study will be grouped into three categories: economic and commercial performance indicators, productive performance indicators, and financial performance indicators.

1.1.3.1 Economic Performance Indicators

Analysing the economic and commercial performance indicators of a railway company makes it possible to identify the most profitable activities that contribute to its internal growth. Such an analysis focuses on the revenue structure and the cost structure.

1.1.3.1.1 Revenue structure

The important elements to be taken into account in the calculation of revenue are: traffic, pricing, and subsidies.

a Traffic

There are three essential steps to analyzing rail traffic. In the first step, customers and key products must be identified. For example, in the passenger transport business, product segments could be shuttles, or regional, intercity, and high–speed transport. For the freight business, the product segments could be coal, grain, or inter-modal. In the second step, it is necessary to assess the market shares of the main railway segments and the competition. In the third step, it is necessary to compare rail traffic with other modes of transport. The aim is to see if rail transport can compete with the other modes. Rail traffic is therefore an important component of the revenue structure since the railways have high, fixed costs.

As indicators of traffic, we chose: the number of passenger/km and the number of ton-km. Their growth, especially owing to improved quality of service, could increase the financial viability of the railways.

b Pricing

The main factors that determine the pricing of railway services are: costs, competition, and regulation. For railways, prices must cover costs, but revenue can be limited by the regulator and also by the market. Thus, the pricing of railway services must take all three factors into account simultaneously.

In a competitive environment, railway companies must set their prices low enough to retain customers and remain competitive, but these prices must be high enough to maximise revenue. To develop an optimal pricing policy, the railway company must grasp the elasticity of demand to determine whether decreasing price will induce a sufficient increase in the volume of traffic and result in increased revenue. Similarly, in order to remain competitive in the market, the railway company must also accurately calculate its variable costs.

c Subsidies

As the third component of the revenue structure, subsidies to railway undertakings come mainly from the State and local authorities, as is the case in most European countries. The State and local authorities compensate the railway undertakings for the important but unprofitable services rendered to the society. An analysis on revenue should therefore include this important revenue source, its payment structure, and all related risks.

The ratios commonly used to analyse revenue from railway operations are as follows:

- ***Ratio of revenue per traffic unit***: used to measure the ability to generate income. It can be calculated according to operation. For freight operations, this ratio is called the average revenue per tonne-km, which is equal to the ratio between the revenue from the freight operations and the number of tonnes-km. For the passenger transport operations, this ratio is called the average revenue per passenger-km. It is equal to the ratio between the revenue of passenger operations and the number of passengers-km. As mentioned earlier, these indicators are sensitive to competition, distance travelled, and quality of services.
- ***Ratio of subsidy per traffic unit***: used to measure the support from the State and local authorities to railway operations and investment. Since subsidies generally go to regional passenger transport segment, the ratio can be expressed in terms of average subsidy per passenger.
- ***Passenger fair to freight ratio***: this is a general measure of how much the railway revenue structure is dependent on freight revenue to cover fixed costs and/or to assess the impact of subsidies on passenger services.

1.1.3.1.2 Cost structure

According to management accounting and cost accounting, cost structure refers to all the costs borne by an undertaking for the acquisition of real estate, movable property, or for various services. All these expenses are included in the company's production costs.

For rail transport, the main components of the cost structure are: labour, power, equipment, services, leasing, and depreciation. This therefore concerns the total recurring costs associated with the production of services.

- Labour: consists mainly of railway personnel. Labour costs include salaries, pensions, and other benefits such as health insurance.
- Power: is made up of the cost of electricity and diesel fuel.
- Equipment: associated expenses include the cost of tracks such as rails, sleepers and ballast, spare parts and other supplies for operation and maintenance. The ratios commonly used to assess the cost structure are:
- ***Share of labour costs in the total operating cost:*** By definition, the share of labour in total operating costs is determined by the ratio of personnel costs to total operating costs. The challenge is therefore to determine what the personnel represents in the operating cost. Where there is cost inflation, this ratio makes it possible to determine the source of inflation (internal or external).
- ***Share of consumables and external expenses in the total operating cost***:This is the ratio of the cost of consumables and external externals to the total operating cost. This ratio determines the weight of consumables and external expenses in the total operating cost. Where the share of labour costs in the total operating cost is greater than that of consumables and external costs, there is internal inflation. Otherwise, the inflation is external or imported.
- ***Operating cost to traffic unit ratio***: This is the ratio between operating expenses and unit of traffic. This ratio can therefore be interpreted as the average cost of production. If the unit of traffic is the number of trains-km, then this ratio will be called the average cost of a train-km. Traffic can also be assessed in terms of tonne-km and passenger-km.

1.1.3.2 Economic Performance Indicators

Three indicators are used to assess commercial performance:

- ***Number of*** passengers ***per train***: It is determined by the number of passenger-km in relation to the number of passenger trains-km. It is an indicator of capacity utilisation.
- ***Number of tonnes per train***: It is also the ratio between the number of tonnes-km and the number of freight trains-km.

- ***Market share***: compares the production of rail transport with that of other modes of land transport. For passenger transport operations, it is equal to the number of train passengers-km related to the total number of passengers-km. The modes of passenger transport taken into account are: train, private car, coach, bus, and trolley bus. For freight operations, the other modes of transport considered are: road and inland waterways. It is therefore equal to the number of rail tonne-km in relation to the total number of tonne-km. In general, market share is often used as an indicator to appraise the efficiency of management and the conditions of the competition faced by a railway undertaking. This indicator can be influenced by strong public subsidies and/or special tariff regimes, which create an unrealistic market share scenario (Nash and Preston, 1994).

1.1.3.3 Productivity performance indicators

Productivity can be defined as the ratio between the volume of production and the volume of resources required for the achievement thereof, i.e. the quantities of production factors used. It makes it possible to measure the contribution of one or more factors of production to changes in the final result. Productivity performance indicators are therefore intended to account for the use of key resources: labour, rolling stock, and infrastructure.

In order to better assess the productivity of the railway undertakings, production and production factors should be defined. Rail transport productivity can be assessed using several indicators: the number of trains-km (which can be calculated according to the operations considered –freight or passenger transport–, or the sum of these two operations) and of tonnes-km.

The number of trains-km has a general character and reflects global offer. The second indicator reflects the level of consumption; it takes into account the quality of service and allows to evaluate the company's revenue.

Production factors generally used include: the track length (we can differentiate electrified tracks from others), operated mileages, labour force (number of employees), motive power (locomotives, multiple-unit trains, self-moving) and the rolling stock (cars and wagons).

As productivity indicator, we can distinguish:

- **The locomotives' productivity:** the ratio of the volume of production on the number of locomotives. Locomotives represent an expensive investment for the company. An intensive use of locomotives would therefore serve as an advantage to the rail likely to enable reach the financial viability.
- **Productivity of wagons:** the ratio of the number of tons-km on the number of wagons.
- **Productivity of cars:** this ratio measures the volume of passenger traffic achieved along **with** the **passenger** pool. The car fleet is an expensive asset for the company. Using it intensively can help increase efficiency and financial viability.
- **Apparent physical productivity:** this type of productivity measures the volume of traffic produced by labour force. It is the ratio between the production level and the total size of the company.

1.1.3.4 Financial performance indicators

Financial performance indicators seek to highlight the return on investment. The calculation of these indicators is rendered possible thanks to the information contained in the accounting records of each company. The ratios used are:

- **The** operating **ratio**. This is the ratio of operating costs to operating revenues. This ratio measures the ability of railways to cover their costs and generate funds for investment. It can be calculated with or without the amount of subsidies. An operating ratio greater than 1 indicates the inability of the railways to cover their costs.
- **Debt ratio**. It is equal to the amount of debt reported in equity. This ratio seeks to establish the extent to which the debts contracted by the company exceed the equity. It can also be interpreted as a ratio of financial autonomy as it measures the level of debt that the company bears compared to the company's equity.
- **Ratio of financial independence**: Also called the ratio of financial autonomy, it allows to measure the degree of company indebtedness in relation to its equity. By definition, the independence ratio is equal to the shareholders' equity in relation to the total capital. As a general rule, a company is autonomous when more than half of its resources come from its own funds, ie a ratio of more than 50% (0.5).

1.2 Comparative analysis of railway performance: a formal calculation of the indicators

1.2.1 Data

Data availability is a major problem faced by all researchers and professionals interested in comparative analysis of railway performance. At the present time, the most exploited sources are companies' annual reports and international statistics of the UIC railways. Although the statistics produced by the UIC are widely criticized for their unreliability, they are however the only source able to provide detailed information on the performance of railway companies.

Other sources of information include national transport statistics, Eurostat and the World Wide Web, which increasingly contains data from both official and non-official sources.

As concerns our study, data are collected from the reports published by the UIC, these are supplemented and corrected by data from the annual reports published by the companies of our sample.

For this study, we have at our disposal a panel of four companies, DB in Germany, SNCF in France, RENFE in Spain and FS in Italy, observed between 1990 and 2012. These companies were chosen based on two Criteria: the network size and the availability of data over the period studied.

1.2.2 Economic Performance Indicators

Economic and commercial performance indicators aim to measure the income generated by each activity. This is one of the reasons why we will begin the analysis of these indicators with the presentation of traffic indicators. It should be recalled that these indicators represent the actual consumption level. Therefore, they determine the company's revenues.

1.2.2.1 Revenue Structure Indicators

Since information on the amount of subsidies is not available, revenue analysis will focus on revenue from traffic. Indicators considered are the average revenue per passenger/km, the average revenue per train/km, and the revenue per traffic unit (passenger/km + ton/km).

a Average revenue per passenger-km

By definition, the average revenue per passenger/km is equal to the total revenue generated by the passenger transport activity in relation to the number of passengers/kilometers. The results of these calculations are summarized in Figure 1-1. It is worth noting that the absence of income data for the entire sample between 1999 and 2004 leads us to analyze this indicator over two periods: 1990-1997 and 2005-2012.

The results of the Kruskal-Wallis population comparison test show that at the 5% threshold, the average revenue per passenger/km varies from one company to another (see table 1-1) It is stable from one year to the next (see appendix 1-20).

Table 1-1: Results of the Kruskal-Wallis population comparison test

ID	Obs	Sums of ranks
DBAG	8	210
FS	8	94
RENFE	7	29
SNCF	7	132
Chi-squared= 26.049 Probability = 0.0001		

This last result is identical to that of Nash and Shires (1993). In the report of the European Union minister's conference, Nash and Shires's presentation on the comparative analysis of railways shows that railway prices between 1989 and 1994 were relatively constant every year.

The central trend characteristics show that between 1990 and 1997, the average revenue per passenger/km is estimated at 10 cents coins for DB, 6 cents coins for FS, 4 cents coins for RENFE and finally 7 cents coins for SNCF. On the other hand between 2004 and 2012, this average is estimated at 18 cents coins for DB, 11 cents coins for FS, 7 cents coins for RENFE and finally 14 cents coins for SNCF.

The evolution of this variable (see Figure 1-1 and Appendix 1-5) enables us distinguish two sequences. The first one, which runs from 1990 to 1993, is marked by a significant decline in this ratio for all companies. This reduction is estimated at 33% for DB,

10% for FS, 10% for RENFE and finally 7% for SNCF. On the other hand, a contrary movement, i. e. by a continuous growth of this indicator, marks the 1993-2012 sequence.

Generally, the results show a rather significant growth for the whole. Thus, between 1990 and 2012, the growth rate of the average revenue per passenger-km for DB is estimated at +82%. For the rest of the sample, this growth is estimated at +156% for FS, +94% for RENFE and finally + 119% for SNCF.

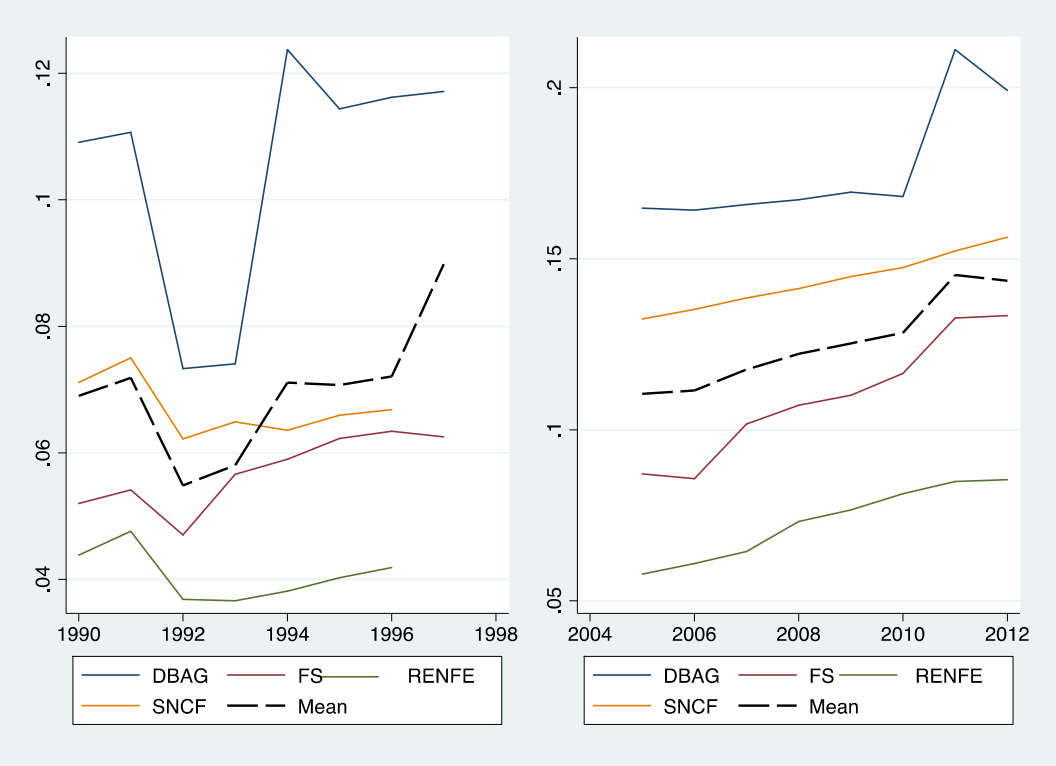


Figure 1-1 : Trend in the average revenue per passenger-km
Sources: Authour using 1990-2012 UIC data and company annual reports.

b Average revenue per ton-km

The overall analysis shows that the average revenue per tons/km for the whole sample decreases generally between 1990 and 1996 (-62%) and then increases between 1997 and 2008 (approximately + 24%) and finally decreases between 2008 and 2012 (see figure 1-2, curve in broken lines). This result shows that rail activity growth can be strongly influenced by external crises.

At the individual level, data show that between 1990 and 1997, the average revenue per ton/km is estimated at 6 cents coins for DB, 4 cents coins for SF, 3 cents coins for RENFE and 5 cents coins for SNCF. On the other hand, between 2004 and 2012, this average is

estimated at 4.5 cents coins for DB, 4.9 cents coins for FS, 3 cents coins for RENFE and finally 4.4 cents coins for SNCF.

The average revenue per ton/km decreased between 1990 and 1997 for all these companies. We also notice a fall of -27% for DB, -27% for FS, -17% for RENFE and -29% for SNCF. Despite this decline, DB remains the company with the highest average revenue per ton/kilometer. It is followed by SNCF, FS and finally RENFE. This ranking may be justified by the results of the Kruskal-Wallis comparison test (see Table 1-2), which show that the average revenue per ton/km varies from one company to another.

On the other hand, between 2004 and 2012, there is a continuous growth of this indicator for DB and SNCF. Despite this growth, these two companies have not been able to reach the average revenue achieved in 1990. For FS and RENFE, this indicator registered an increase between 2004 and 2008, then decrease between 2008 and 2012. This decline can therefore be attributed in part to the 2008 crisis (see Appendix 1-19).

Between 1990 and 2012, DB registered an 18% fall in average revenue for SNCF. This record is estimated at 36%. Finally for RENFE and FS, this fall is estimated respectively at 16% and 0.5%.

Table 1-2: Results of Kruskal-Wallis population comparison (revenue per ton-km

ID	Obs	Sums of ranks
DBAG	8	207
FS	8	93
RENFE	7	32
SNCF	7	133
chi-squared= 24.555 Probability = 0.0001		

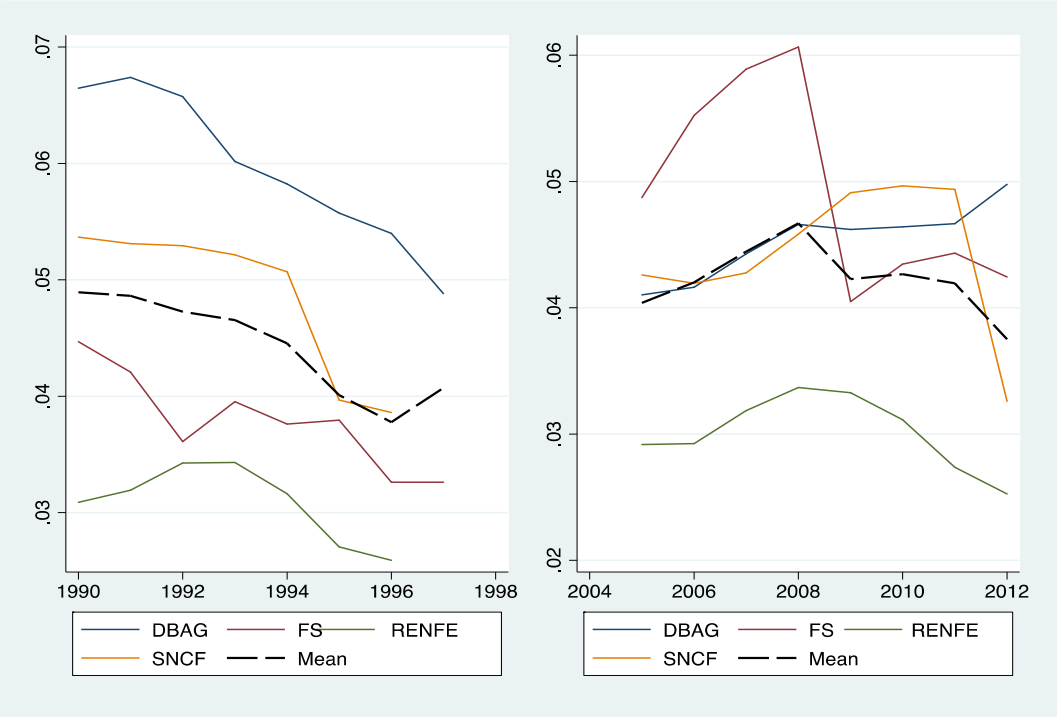


Figure 1-2 : Trend in the average revenue per ton/km
Sources: auteur à partir des données UIC 1990 -2012 & des rapports annuels des compagnies.

c Product per production unit

It is an indicator that measures the ability of the railways to generate revenues for all the traffic. There is the product per train/km and the product per traffic/unit (passenger-km + ton/km). The summary of these calculations is presented in Figures 1-3 and 1-4.

The overall analysis shows that the evolution of the product per production unit is the same regardless of the measurement considered (see dotted line in Figures 1-3 and 1-4). It can be seen that the average product per production unit follows an upward trend between 1990 and 2012, even though it decreased slightly between 1990 and 1996. In general, the product per traffic unit experienced a significant improvement of + 3.4% per year.

At the national level, the descriptive analysis shows that the average product per traffic unit is estimated at 17 cents coins for DB, 13 € cents for FS, 11 for RENFE and 13 cents for SNCF. In the same vein, the average product per train/km is estimated at € 30.90 for DB, € 28.50, € 18.70 for RENFE and € 31.7 for SNCF.

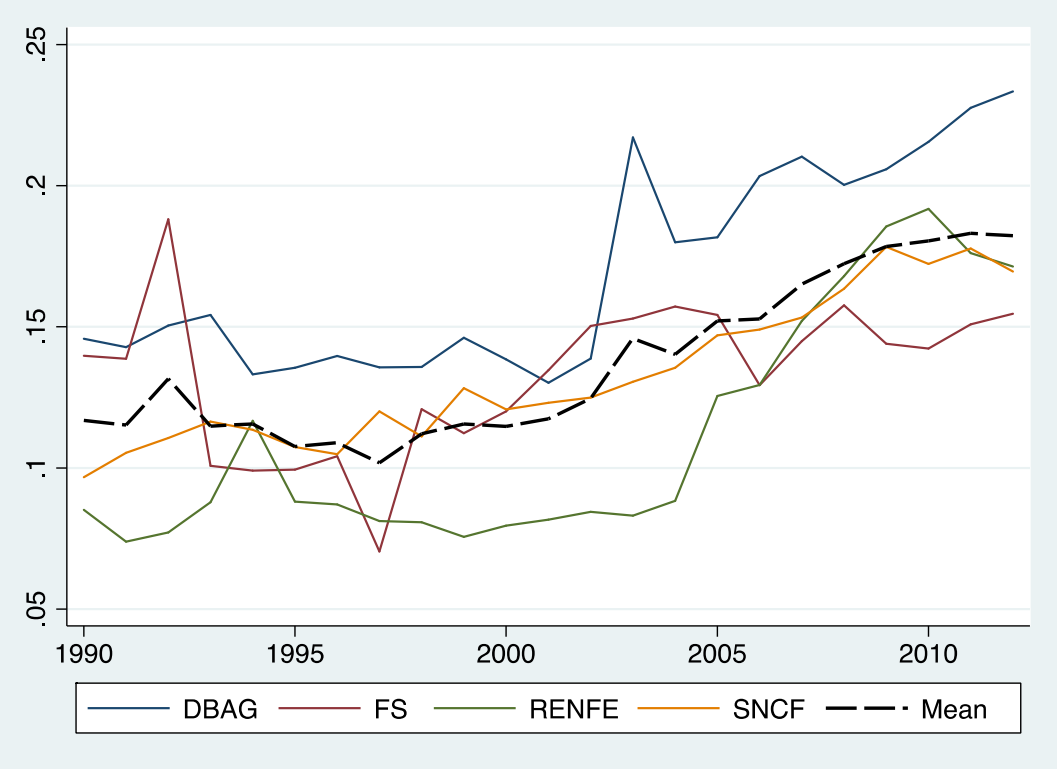


Figure 1-3 : Trend in the average revenue per traffic unit
Sources: Authour using 1990-2012 UIC data & companies annual reports

Figure 1-3 shows that for SNCF and RENFE, the product per production unit was at an overall increase between 1990 and 2012 (+90% for SNCF and 104% for RENFE), but this development was slightly slowed down by the 2008 crisis. However, for DB, this indicator declined slightly between 1990 and 2000 (-12%) and then increased between 2000 and 2012 (+ 80%). Lastly, for FS, this indicator decreased sharply between 1990 and 1996 (-47%) and then increased between 1996 and 2012. The results are the same if one considers the evolution of the average product per train-km (see figure 1-4).

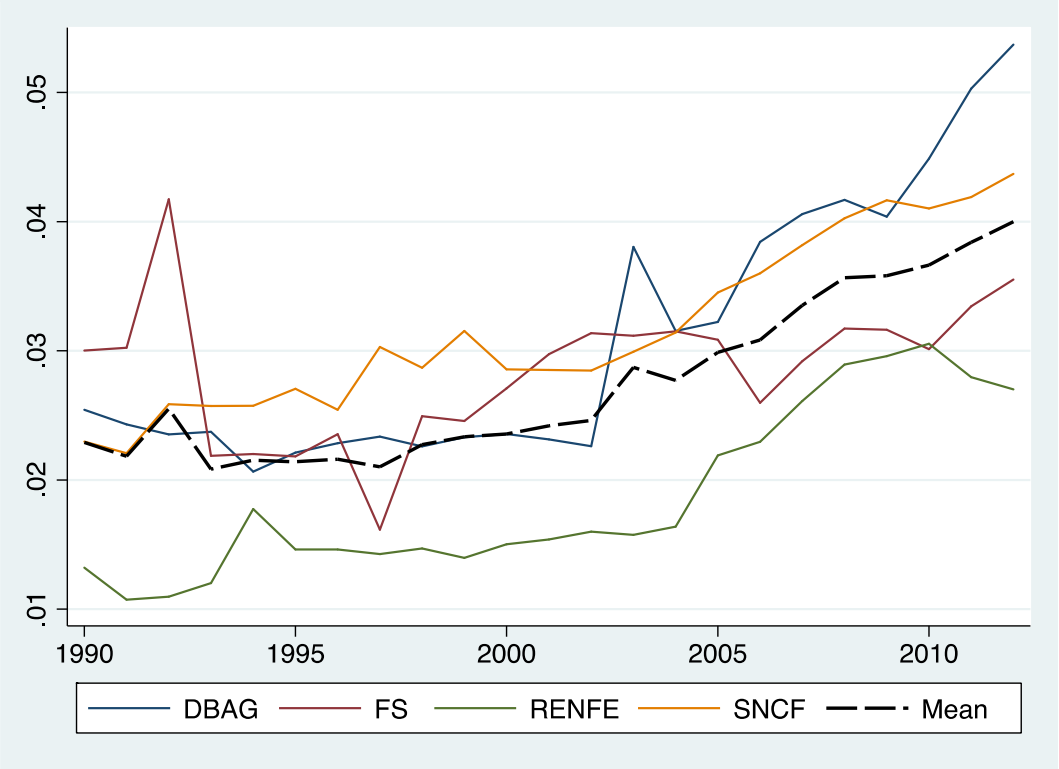


Figure 1-4 : Trend in average revenue per train-km
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

1.2.2.2 Cost structure Indicators

The indicators for cost structure analysis are: staff costs (in % of total cost), consumption and raw materials cost (in % of total cost), average annual salary per employee, total cost per train/km and the cost per traffic unit.

a The Trend of staff share costs in the total cost

It is worth recalling that staff costs consist of salaries and social charges. Figure 1-5 (see also Appendix 1-6) shows a strong trend towards a reduction in the share of staff charges in the total operation costs over the period 1990-2012 (from an average of 50% to 39%). More specifically, the share of staff charges for all four companies decreased between 1991 and 1998 and then stabilized between 2004 and 2012 (see dashed line in Figure 1-5).

Between 1990 and 1997, personnel charges accounted for an average a 58.9% average of DB's total operating cost, 58.6% for the SF, 52.3% for SNCF and 46.7% for RENFE. This result shows that over this period, staff represented the main point of

expenditure for the companies. However, between 2004 and 2012, the averages recorded were 31% for DB, 47% for the FS, 30% for the RENFE and 46% for the SNCF. Between 1990 and 2012, therefore, railway companies significantly reduced the share of personnel charges in total operating costs. This decrease was mainly between 1994 and 1996 for DB, between 1991 and 1996 for SNCF and for RENFE, and between 1993 and 1996 for FS. On the other hand, between 2004 and 2012, this ratio is relatively stable for all companies. In relative terms, between 2004 and 2012, FS and SNCF are the companies with a high percentage of personnel charges (between 45% and 50%). For RENFE and DB, this ratio is low as it varies between 30% and 35%. For these two companies one can think of a cost outsourcing logic which is less practiced by SNCF and FS.

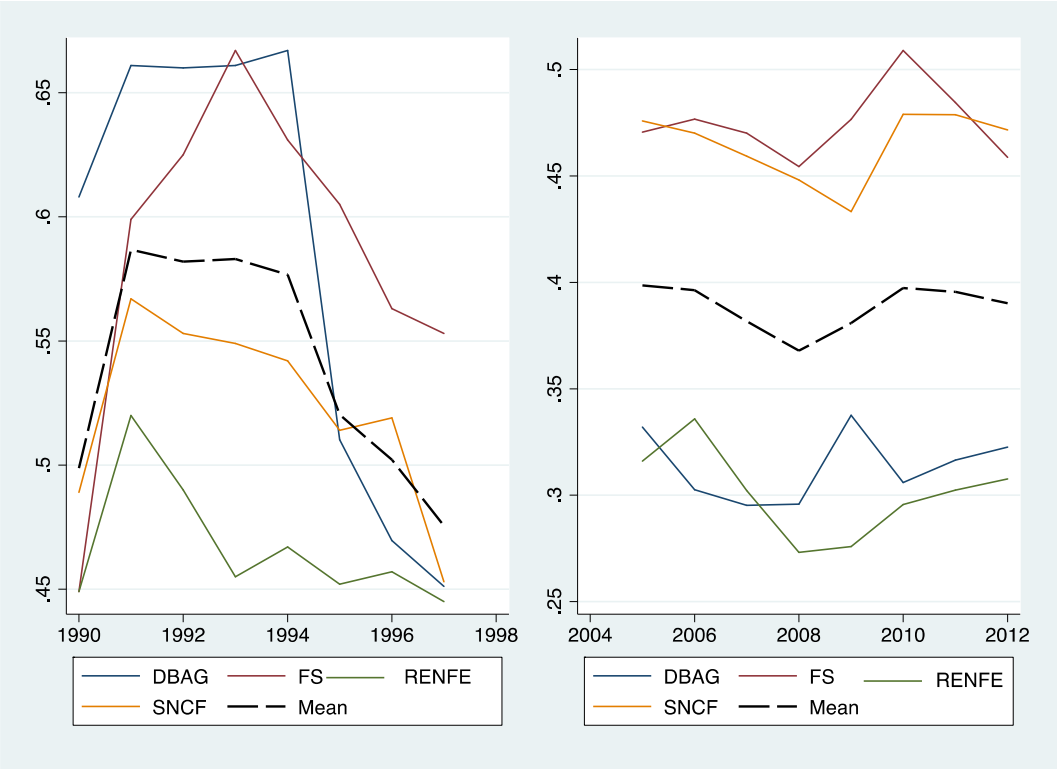


Figure 1-5 : Trend in the share of staff costs on operating costs
Sources: Author using 1990-2012 UIC data & companies' annual

a Trend in external consumption and expenses shares

External consumption and charges include any purchase of goods used as an element in the production process. Purchases of raw materials and consumables for resale are excluded from this heading. The external expenses category includes outsourcing costs, land or equipment rental costs, the cost of supplies not intended for inventory, maintenance and repair work, insurance premiums, studies and research costs, external staff costs,

commissions to be paid to intermediaries and professional expenses, advertising expenses, transport, travel, meeting and representation expenses, postal and banking costs.

By definition, the weight of external consumptions and charges is given by the ratio of external consumptions costs and charges to the total running cost. Results are presented in Figure 1-6 and in Appendix 1-7.

Between 1990 and 1997, the share of external consumptions costs and charges increased, but the level of this share remained the same between 25% and 31%. On the other hand, between 2004 and 2012, this share stabilized at around 50% (see broken line in Figure 1-6).

At the national level, between 1990 and 1997, external consumption and expenses accounted for 31.9% of the total cost for DB, 32.1% for RENFE, 30.9% for SNCF and 20.9% For FS. On the other hand, between 2004 and 2012, this ratio was estimated at 56% for DB, 46% for SNCF, 56% for RENFE and finally 37% for SF. These figures confirm the idea of out sourcing costs for DB and RENFE and internalizing costs for SNCF and SF.

The development of this ratio (see Figure 1-6) is symmetrical to that of the share of personnel costs in the total running cost. Between 1990 and 1997, this ratio increased for DB, SNCF and RENFE, and it reduced for SF. On the other hand, between 2004 and 2012, it was globally stable for SF, increasing for SNCF and overall decreasing for RENFE and DB.

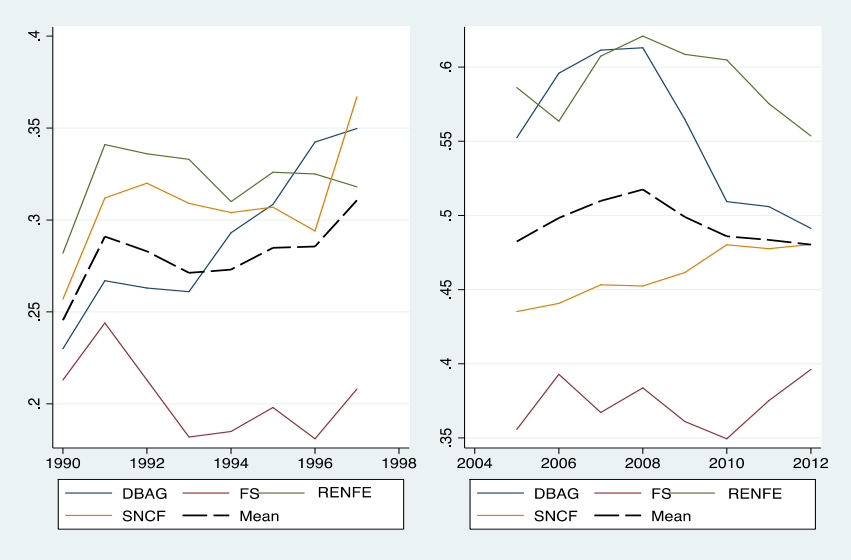


Figure 1-6 : Evolution of the share of consumption and raw materials costs
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports

b Trends in average annual salary

Average annual salary is given by the ratio of the wage bill and the total number of employees. For this study, the amount of the wage bill includes wages and social charges. The evolution of this indicator is presented in Figure 1-7.

In order to facilitate the interpretation of the results, for the period 1990-1997, each wage bill expressed as a local currency unit was converted into a euro, the exchange rate being that of the year of admission to the euro zone.

The calculations show that between 1990 and 1997 the average wage for the whole sample is estimated at € 35,000, while between 2004 and 2012 it is estimated to be 54,000 €, an increase of 54%. There is a continuous overall increase over the entire period (see dotted line in Figure 1-7).

Nationally, between 1990 and 1997, the average wage is estimated at € 44,000 for DB, € 35,000 for FS, € 25,000 for RENFE and € 34,000 for SNCF. On the other hand, between 2004 and 2012, this is estimated at € 62 000 € for DB, € 50 000 for FS, € 52 000 for RENFE and finally € 53 000 for SNCF.

The temporal analysis shows that the wage rate is globally increasing throughout the period for companies such as SNCF, RENFE and SF. For DB, on the other hand, there is an overall decrease between 1993 and 1997 and then an increase between 2004 and 2012. The figures show a general increase of 58% for DB, 118% for FS, 145% for RENFE and lastly 96% for SNCF.

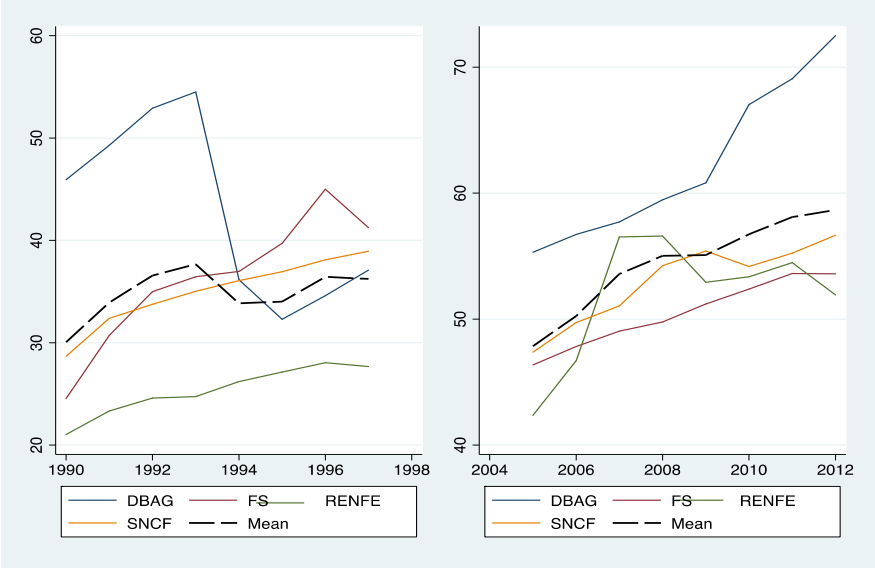


Figure 1-7 : Trend in average wage per employee
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

c Trend in total cost per production unit

It is defined as being equal to the total operating cost relative to the production level (traffic unit or trains/km). This is a key indicator for comparing the underlying cost of railway operators. The ideal would be to calculate this coefficient according to the activity branch (passenger or freight). Since we do not have detailed information on operating costs per activity branch, our analysis, on the one hand, will be based on the assumption that a train/km of passengers equals one train/km of goods, which enables us calculate the cost per train/km, and, the assumption that a passenger/km is equal to one ton/km, which enables us estimate the cost per unit of traffic.

The evolution of these variables is shown in Figures 1-8 and 1-9, respectively. For this sample, the average cost per train/km is estimated at € 28, while the average cost per unit of traffic is estimated at 14 cents coins. As can be seen in Figures 1-8 and 1-9, the average cost per production unit is on a global increase throughout the period. This growth is estimated at about + 1.2% per year.

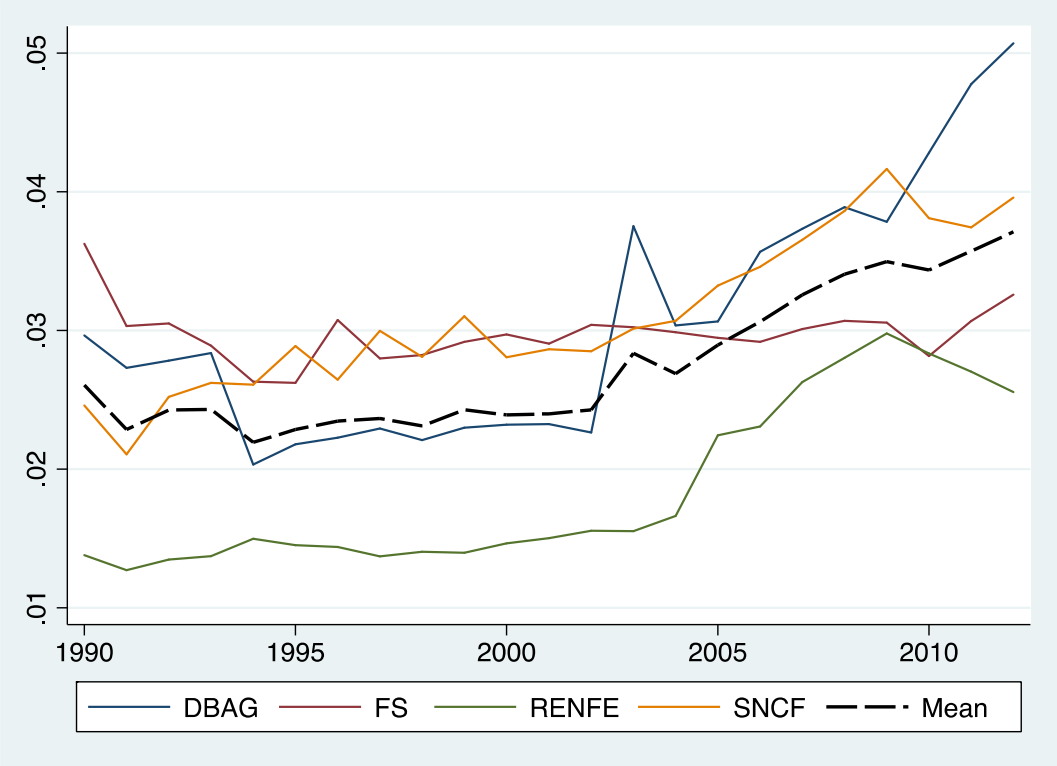


Figure 1-8 : Trend in total cost per train-km
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

At national level, the data show that between 1990 and 2012, the average cost per train-km is estimated at € 31 for SNCF, € 31 for DB, € 30 for SF and € 19 for RENFE,

While the average cost per traffic unit is estimated at 16.8 cents coins for DB, 14.2 cents coins for SF, 11.1 cents coins for RENFE and 13 cents coins for SNCF.

As shown in figures 1-8 and 1-9, the cost per production unit (cost per train/km or cost per traffic unit) increased globally for RENFE (+82%) and SNCF (+42 %). For DB, this cost decreased between 1990 and 2000, and then increased overall between 2000 and 2012 (+29%). For SF, the evolution of the cost per production unit is similar to that of DB, slightly decreased between 1990 and 1996 and then a slightly increased between 1996 and 2012. For SFs, this cost is generally stable between 1995 and 2012. SNCF, DB and RENFE are characterized by an inflation of the cost per production unit (see also appendix 1-8 and appendix 1-9).

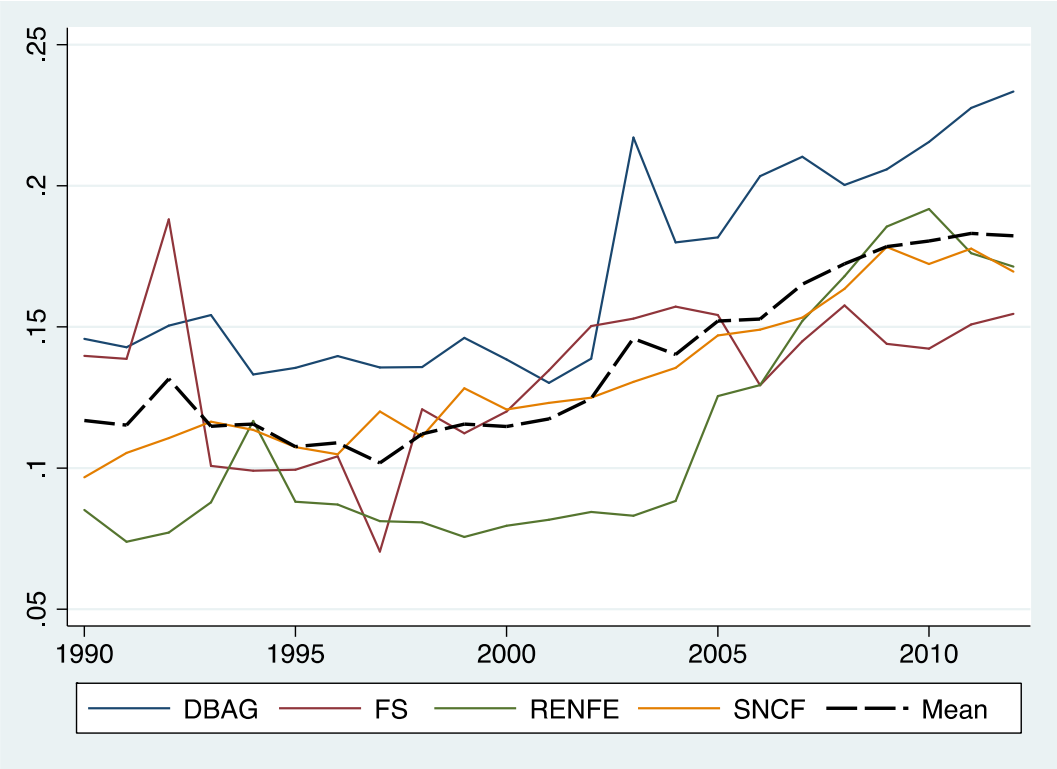


Figure 1-9 : Trend in cost per traffic unit
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

1.2.3 Market share indicators

Market performance indicators in our study are represented by: the number of passengers per train, the number of tons per train and the market shares. The first two indicators reflect the level of utilization of available capacity while the other two reflect not

only management efficiency but also the competitive conditions faced by the railway company.

Before analysing these indicators, it is important to see the evolution of traffic marketed over this period. The indicators used for this purpose are: the number of passengers-km and the number of tons-km.

1.2.3.1 Market Traffic or Demand Analysis

a Number of passengers-km

The number of passengers-km is an indicator of the level of consumption in the branch, taking into account the number of passengers carried and the distance traveled. It can be strongly influenced by the quality of services and also by the prices charged.

Data show that between 1990 and 2012, the average number of passenger-km was estimated at 51 billion, which is on an overall increase throughout the period (see dotted line in figure 1-10).

At the individual level, passenger-km analysis (see figure 1-10 and appendix 1-1) shows almost continuous growth in traffic for DB (+100% between 1990 and 2012) and for RENFE (+37% between 1990 and 2012). For SNCF, traffic decreased between 1990 and 1996, followed by an almost continuous growth between 1996 and 2012 (+34%). Lastly, for SF, traffic increased between 1990 and 1996 and then continued to decline between 1996 and 2012. Although passenger traffic was influenced by the crisis for some companies, an annual 1.4% growth can be observed for all companies.

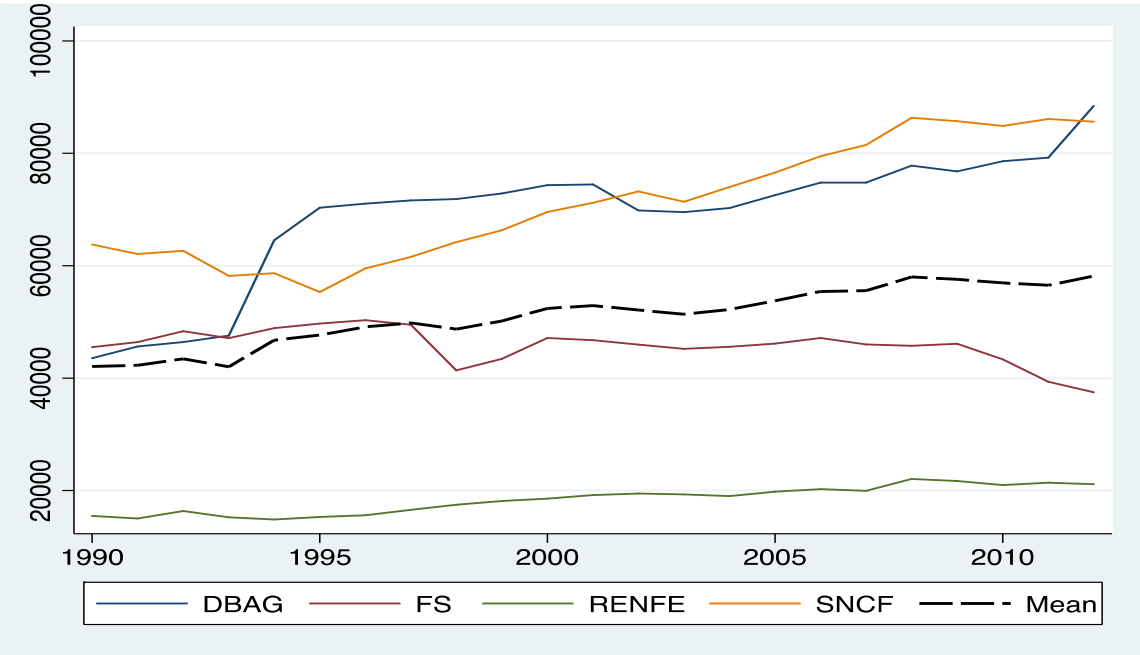


Figure 1-10 : Trend in the number of passengers/km between 1990 and 2012
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

The trend in the number of passengers/km also shows that the 2008 financial crisis considerably affected passenger traffic, since for all companies the number of passengers/km decreased as from 2008. In Germany and France, traffic was at an increase as from 2010, while in Italy and Spain it continued to decline.

b Number of tons-km.

In comparison with the number of passengers/km, the number of tons/km is an indicator of the consumption level of the goods transport sector. This indicator, as shown in Figure 1-11, takes into account the number of tons of goods transported and the distance traveled.

Between 1990 and 2012, the average number of tons/km is estimated at 40 billion for the entire sample. This average increased slightly between 1990 and 2000 and remained stable between 2000 and 2012 (see the dotted line in Figure 1-11).

Figure 1-11 shows a strong heterogeneity in the evolution of the average number of tons/km per company. The results of the Kruskal-Wallis comparison test show that the average number of tons/km varies from one country to another (see Table 1-3), but is constant from one year to another (see Appendix 1- 21 for the results). These results show that DB has the best performance with an average of 82 billion tons/km, followed by SNCF (46 billion), FS (21 billion) and RENFE (11 billion).

Table 1-3: Comparison test for the number of tons km

ID	Obs	Sum of ranks
DBAG	23	1849
FS	23	813
RENFE	23	276
SNCF	23	1340
Chi-squared=83.921 Probability= 0.0001		

Temporal analysis shows that DB follows a quasi-continuous growth movement between 1990 and 2012 (+70%), (see Figure 1-11). For the other three companies, traffic was initially on an increase between 1990 and 1996 and then continued to decline between 1996 and 2012.

Between 1990 and 2012, traffic reduced by 41% for FS, 35% for RENFE and 37% for SNCF. This result shows that goods traffic fell sharply as from 2008 and it can also be noted that DB was the only company that missed this decline since its traffic grew by 0.8% per year. This can also be seen in the evolution of the tons/km index (see appendix 1-3).

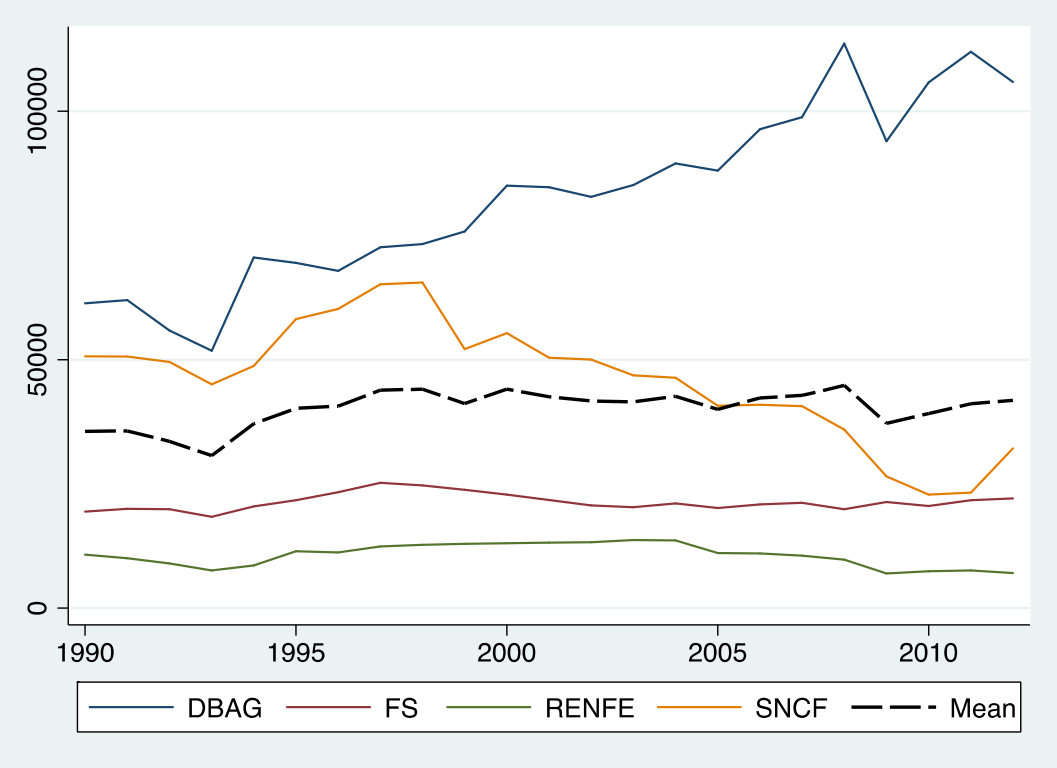


Figure 1-11 : Trend in the number of tons-km
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

1.2.3.2 Capacity utilization analysis

a Number of passengers per train

It is an indicator of the level of capacity and also an important determinant of the production efficiency of railway companies. In fact, for Cantos et al., (2010); Cantos Sánchez, (2001); Pedro et al., (2008), Pedro et al. (2012), an increase in the number of passengers per train facilitates an increase in the technical efficiency of railway companies (see Figure 1-12 for the evolution of this variable and appendix 1-2 for the evolution of this variable's index).

The descriptive analysis shows that for this sample, the average number of passengers per train is estimated at 154; this annual average remained stable over the entire period (see the dotted line in figure 1-12).

At the individual level, there is a strong heterogeneity between the companies. As figure 1-12 shows, the number of passengers per train decreased for FS. This represents a 16% decrease between 1990 and 2012, an annual 0.7% decrease. For DB, the number of passengers per train remained generally stable between 1990 and 2003 and then increased between 2003 and 2012. An annual 1.5% growth can be noted between 2004 and 2012. SNCF registered a difference since it had an almost continuously increasing traffic throughout the period (+3.7% between 1990 and 2012). Lastly, for RENFE, there was continuous growth between 1990 and 2008, followed by a downward trend between 2008 and 2012.

Nevertheless, data show that DB (108 passengers/train) had the lowest number of passengers per train, therefore ranking fourth. The third of this classification is RENFE (135 passengers/train) while the second is SF (180 passengers/train). SNCF ranks first with an average 192 passengers/train, ensuring high levels of productivity. This ranking was confirmed by the results of the Kruskal-Wallis test (see Table 1-4) which show that the average number of passenger-km varies from one country to another.

Table 1-4: Comparison test for the number of passengers per train

ID	Obs	Sum of ranks
DBAG	23	291
FS	23	1473
RENFE	23	790
SNCF	23	1724
Chi-squared=77.771		
Probability= 0.0001		

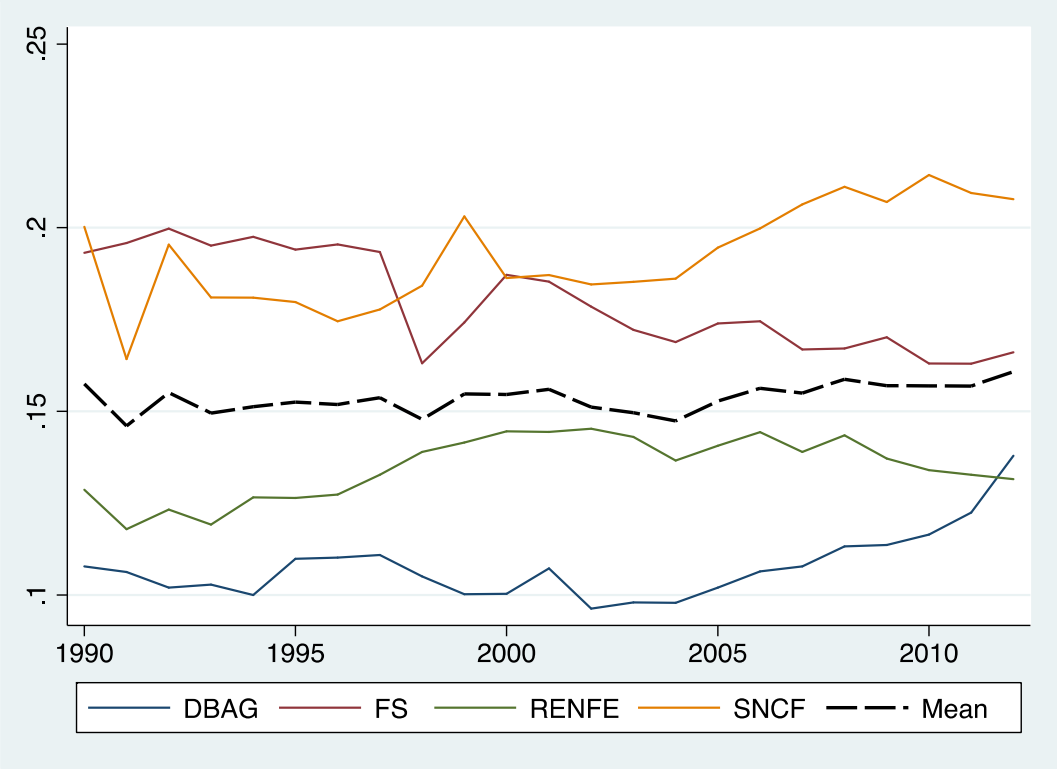


Figure 1-12 : Trend in the number of passengers per train
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

b Number of Tons per train

It is equal to the ratio of the number of tons/km to the number of freight trains/km. It therefore indicates the level of utilization of the available capacity. Just like the number of passengers per train, the number of tons per train correlates positively with the technical efficiency of the railway companies. Thus an increase in the number of tons per train could lead to an improvement in the financial viability of the railway companies.

The central trend characteristics show that the average number of tons per train is 372. As can be seen in Figure 1-13 (see dotted curve), the average number of tons per train is on an overall increase throughout the whole period. It is estimated at 409 for DB, 388 for FS, 304 for RENFE and 389 for SNCF. The highest value for the number of tons per train for DB can be linked to the dynamism of its traffic. As noted above, it is the only company whose traffic did not decline between 1990 and 2012.

Figure 1-13 (see also Appendix 1-4) shows that the number of tons per train is on an overall increase for DB (+70%), SNCF (+34%) and RENFE (+76%). SF has an upward trend on the one hand between 1990 and 1999 and on the other between 2006 and 2012. For the rest of the period, this indicator follows a downward trend.

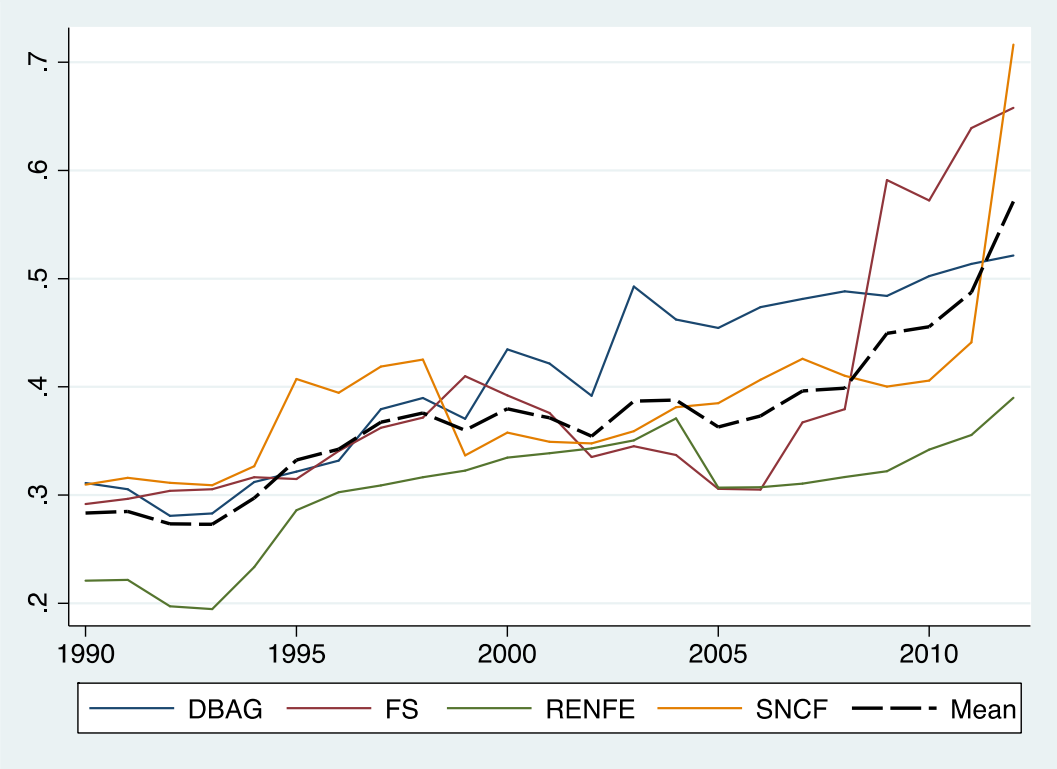


Figure 1-13 : Trend in the number of tons per train
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports

1.2.3.3 Market shares Indicator

As mentioned above, these indicators are generally used to assess management efficiency and also the conditions of competition faced by the railway company. It is very likely that high public subsidies and/or binding tariff regimes create an unrealistic market share scenario [ECM (2000); Nash and Preston, (1994b)].

a Freight rail transport market shares

The market share is determined by the ratio of rail traffic to total land traffic in the country. For the freight transport sector, the market share is given by the ratio of the number of tons/km to the total number of tons/km (train + road + waterways).

Between 1991, an average 18% of freight traffic was transported by railways, compared to 14% in 2012, i. e. a general decrease of 22% (the equivalent of a 2% annual decrease). Between 1991 and 2012 rail freight transport represented on average 21% of total traffic in Germany, 18% in France, 11% in Italy and 6.5% in Spain.

Data show that railways shares decreased between 1990 and 2012 in France and Spain. In Germany and Italy, however, this share has been falling slightly between 1990 and 2005, following an upward trend between 2005 and 2012 (see figure 1-14).

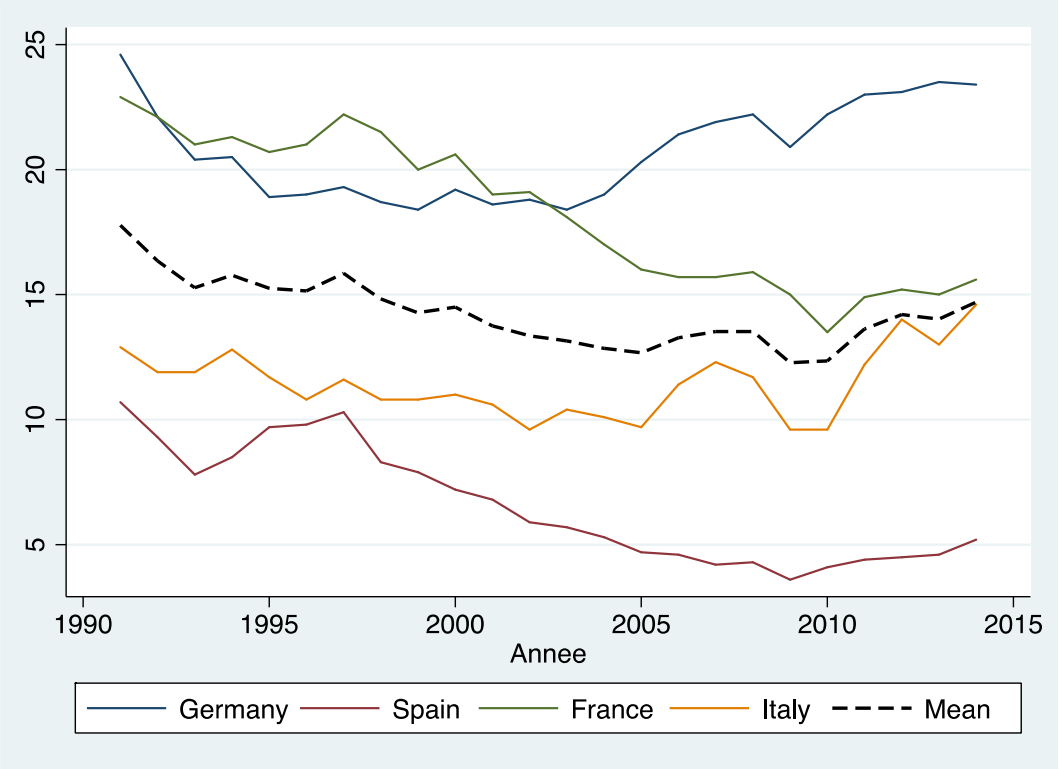


Figure 1-14 : Trends in freight transport market shares
Sources: author using EUROSTAT data

b Passenger rail transport market shares

For the passenger land transport sector, the rail market share is equal to the ratio of the number of passengers/kilometers made by the train to the total number passengers/kilometers (train + passenger car + coaches + buses and trolley buses).

In 1990, rail passenger traffic accounted for 7% of total passenger traffic, up from 7.6% in 2012, representing an overall increase of 8.6% between the two dates (on average +0.7% annual growth). Temporal analysis shows that the average share of passenger rail transport decreased between 1990 and 2001 and then followed an upward trend between 2001 and 2012 (see the dotted curve in Figure 1-15).

Figure 1-15 shows that passenger rail transport market shares in Germany took an upward trend, although this share declined slightly between 2001 and 2002. In Spain and Italy, this share decreased harshly between 1990 and 1997, and then increased slightly between 1997 and 2012. In France, the same scenario was observed. Between 1990 and 1995, the railway shares fell considerably and then continued to rise between 1995 and 2005. Lastly, in Germany, this share was on an upward trend throughout the period

As compared to other countries, France has a larger share (9%); followed by Germany (7%), Italy (6%) and Spain (5%). Despite this ranking, rail passenger transport does not even represent 10% of total traffic, which is therefore rather low.

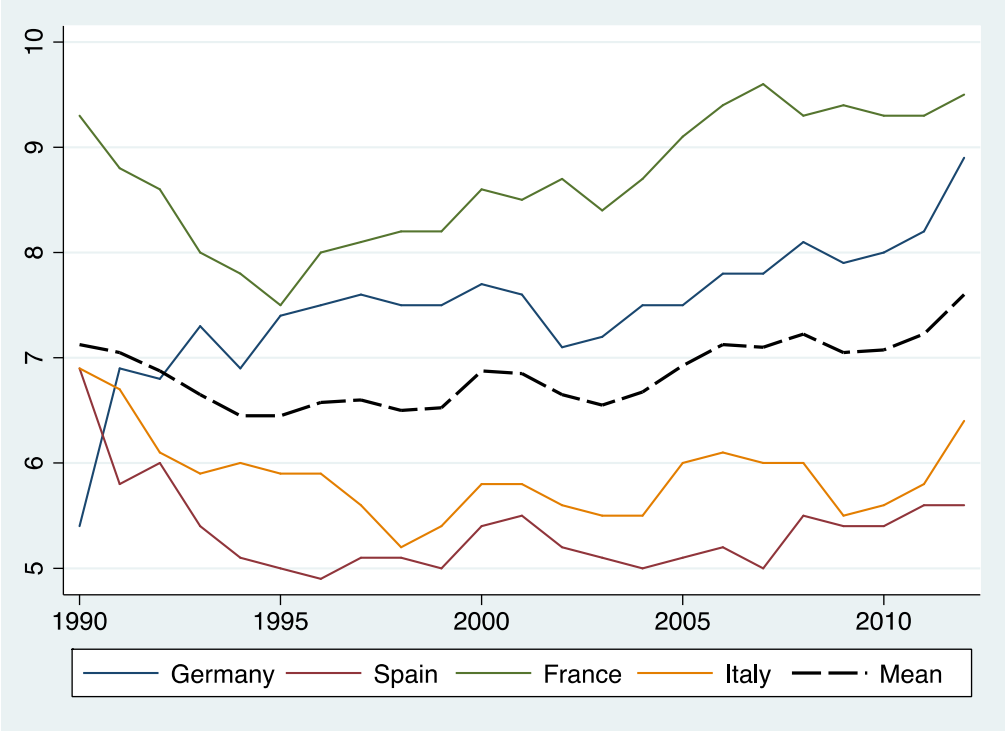


Figure 1-15 : Trends in passenger transport market shares
Sources: author using EUROSTAT data

1.2.4 Production performance Indicators

As mentioned in the previous section, production performance indicators are used to measure the contribution of one or more inputs to the change in the final result of a transport process. In his book "The Wealth of Nations", Adam Smith proposes three types of factors: capital, labor and land, whose relative contributions to production vary. In microeconomics, the factors of production generally used are labor and capital. In the railway industry, the capital factor is equivalent to the company's rolling stock, i. e., locomotives, self-propelled cars, wagons and vehicles.

The production performance indicators used are: labor productivity, locomotive productivity, car productivity, and wagon productivity.

Before analyzing the evolution of these indicators, it is important to present the evolution of the supply level. For a railway company, supply is evaluated using the number of trains/km, which can be broken down by activity (passengers or freight).

1.2.4.1 Traffic analysis

The actual supply of Railway Company is evaluated using the number of trains/km that can be broken down as per activity.

a The number of passenger trains-km

Figure 1-16 shows the evolution of this variable while Appendix 1-10 shows the evolution of the index of this variable. Descriptive statistics show that between 1990 and 2012, the average number of passenger trains per km is estimated at 642 million for DB, 369 million for SNCF, 255 million for FS and 136 million for RENFE. Overall, the average is estimated at 351 million passenger trains/km, with a general increase between 1990 and 2005 and then stabilization during the rest of the period (see dotted curve, Figure 1-16).

At the individual level, Figure 1-16 shows that the number of trains/km of DB is on an overall upward trend between 1990 and 2006 (+70%) and then a downward trend between 2006 and 2012. For SNCF and RENFE, traffic is globally on an increase throughout the period. This growth is estimated at +30% for SNCF and +34% for RENFE. On the side of SF, traffic between 1990 and 2008 (+ 17%) was on a low increase, and it was halted by the 2008 crisis. Between 2008 and 2012, the supply of passenger trains/km from SF declined sharply (-25%) before the advent of the competitive NTV.

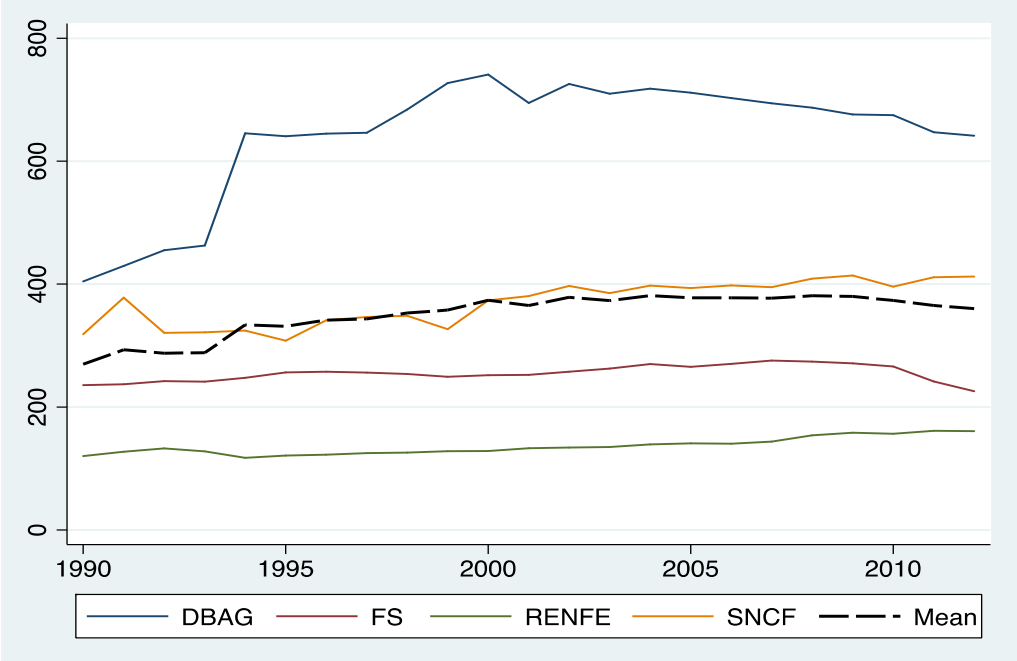


Figure 1-16 : Trends in the number of passenger trains/kilometers
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

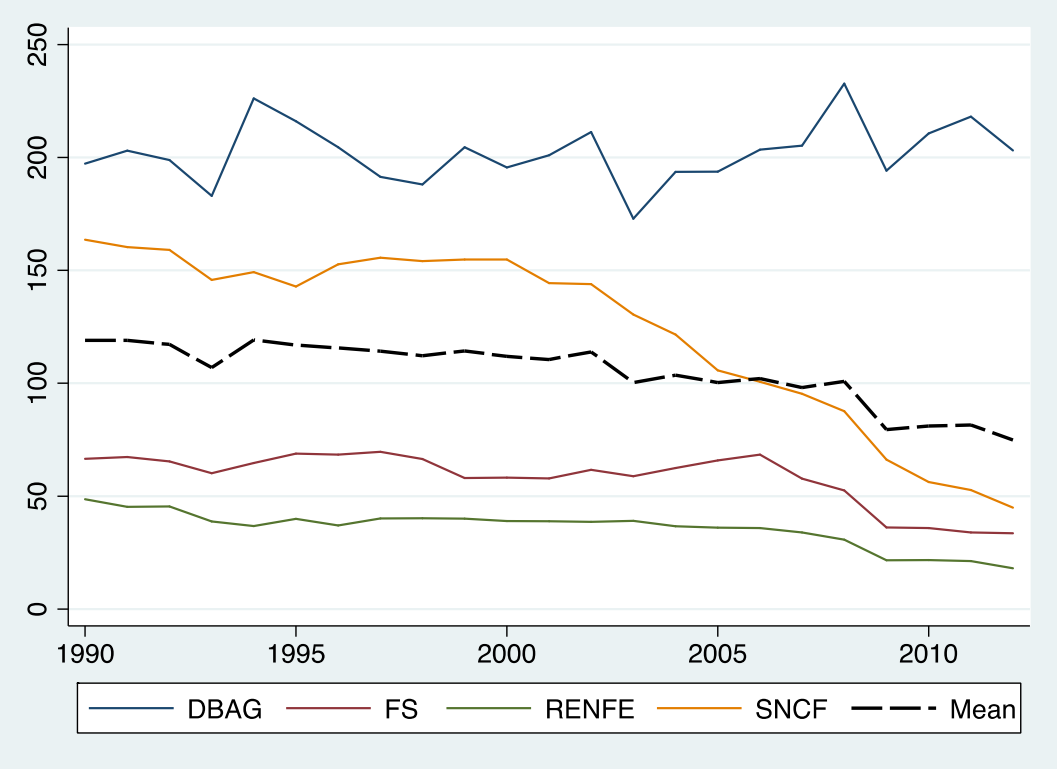


Figure 1-17 : Trends in the number of freight trains-km (in millions)
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

b The number of freight trains-km

As shown in Figure 1-17, the evolution of this variable is quite different from that of the number of passenger trains-km. The results show that between 1990 and 2012, freight trains-km offerings are generally stable for DB, while for the three other companies this offer decreased over the whole period. This decline was estimated at 50% for SFs, concentrated between 2007 and 2009. RENFE recorded a continuous drop (-68%) in traffic, while for SNCF, this decline was -70%, a deterioration that has accelerated since 2000.

In total, between 1990 and 2012, the supply of freight trains dropped at a rate of 2.04% per year, unlike rail passenger services which increased by 1.4% per year (See also Appendix 1-11 for the evolution of the index of this variable.

1.2.4.2 Productivity measurement indicators

a Labor productivity

By definition, labor factor productivity is equal to the ratio between the quantity produced and the labor employed, and is therefore an output/input ratio.

Two indicators enabled us assess the productivity of the factor. They are: the total number of trains/km in relation to the total number of employees (see figure 1-19) and the ratio of traffic units (ton-km + passenger-km) to the total man power (See figure 1-18). This approach to understanding production has been criticized by a number of authors (Pitfield and Button, 1985), considering that it simplifies reality.

Expressed in trains-km, the average productivity per employee is estimated at 4 thousands of traffic units, and it was globally on an increase over the entire period (see dotted line in figure 1-19). Expressed in traffic units, the average productivity per employee is estimated at 73 thousand; it was on an overall increase throughout the period even though it experienced a decline between 2008 and 2012 following the 2008 crisis (see dotted curve in figure 1 -18).

Expressed in units of traffic, the average productivity per employee is estimated 760,000 for DB, 890,000 for RENFE, 680,000 for SNCF and lastly 596,000 for FS. Expressed in trains/km, the average productivity per employee is estimated at 4,180 for DB, 5,238 for RENFE, 2,855 for SNCF and 2,853 for FS. Regardless of the productivity indicator, RENFE is the company with the highest productivity in our sample, DB ranks second, followed by SNCF and SF. This ranking is identical to that obtained by Nash and Preston (1994) and Nash and Shires (2000) respectively.

Temporal analysis shows that for DB, RENFE and SF, the labour factor productivity almost doubled over the entire period. On the other hand, for SNCF, the evolution of the productivity indicator is rather peculiar. SNCF recorded high productivity growth between 1994 and 1997, which stabilized between 1997 and 2005. Lastly, between 2005 and 2012, it was on an upward trend, which was stalled by the 2008 crisis.

For the entire period and for companies, the staff apparent productivity was continuously improving (+2.96% per year), a trend which is halted by the 2008 crisis (see appendix 1-12 and appendix 1-13).

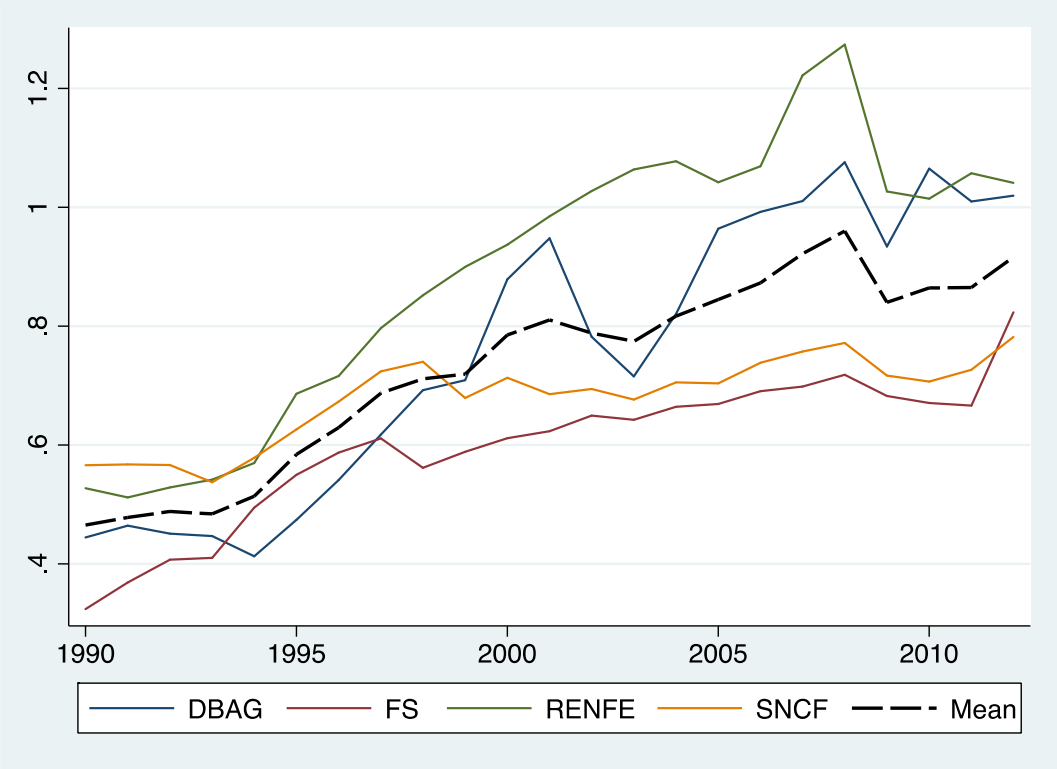


Figure 1-18 : Trends in productivity of labour (in thousand of traffic units)
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

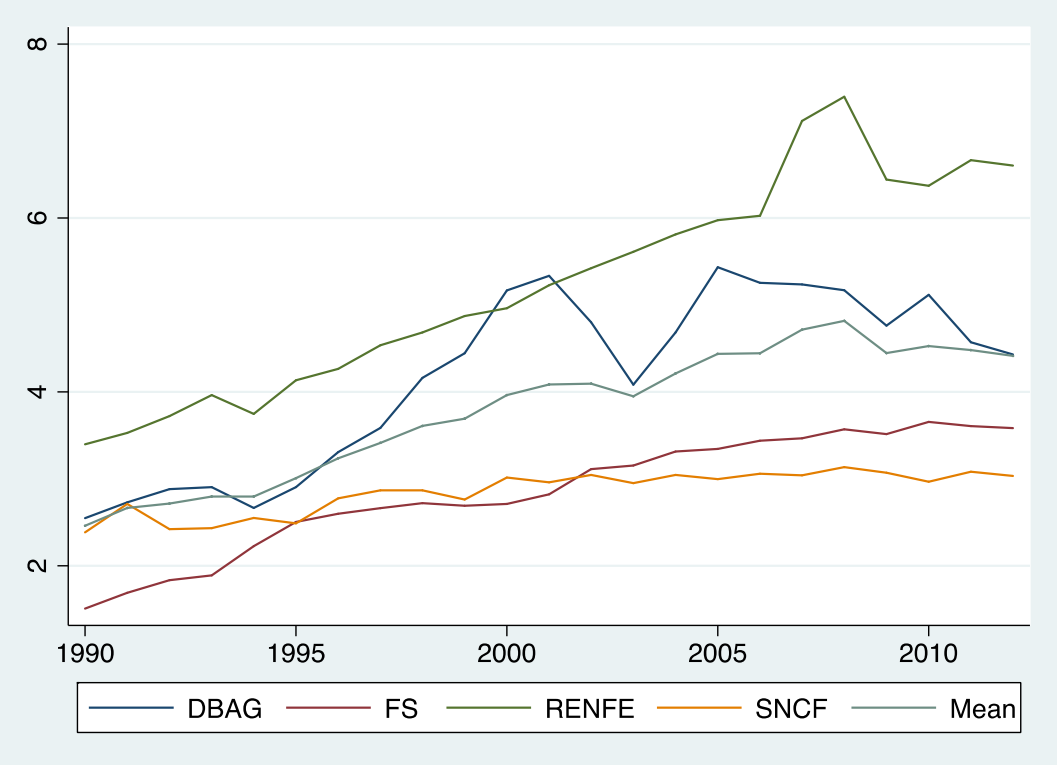


Figure 1-19 : Trends in physical productivity of labour (in thousand of trains-km)
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

b Locomotive productivity

Engine equipment consists of locomotives (diesel or electric) and self-propelled (diesel or electric) engines. For practical reasons, we will use the term "locomotive" to designate the whole set of engine equipment. In addition, we will use the unit of traffic (ton/km + passenger/km) as production measurement indicators. Figure 1-20 shows the evolution of locomotive productivity between 1990 and 2011 for the four companies, while Appendix 1-14 shows the evolution of the locomotive productivity index.

The average productivity of locomotives is estimated at 15 million traffic units, which is generally on an increase between 1990 and 2000, then a decrease for the rest of the period (see dotted curve in Figure 1-20).

At the national level, average locomotive productivity is estimated at 13 million traffic units for DB, 16 million traffic units for SNCF, 17 million traffic units for RENFE and 14 million traffic units for FS.

Figure 1-20 shows that, regardless of company, the productivity of locomotives was globally on an increase at first and then on a decrease at a given moment. For RENFE, the productivity of locomotives was on an increase between 1990 and 2008 (+2.8% per year) and then on a decrease for the rest of the period (-4.6% per year). The results show that locomotive productivity increased by 1.6% for SNCF and 0.9% per year for FS between 1990 and 2008 and then decreased for the rest of the period (-0.9% per year for SNCF and -0.8% per year for the FS). Similarly for DB, locomotive productivity grew over all between 1990 and 2001 (+1.6% per year) and then decreased for the rest of the period (-2.5% per year).

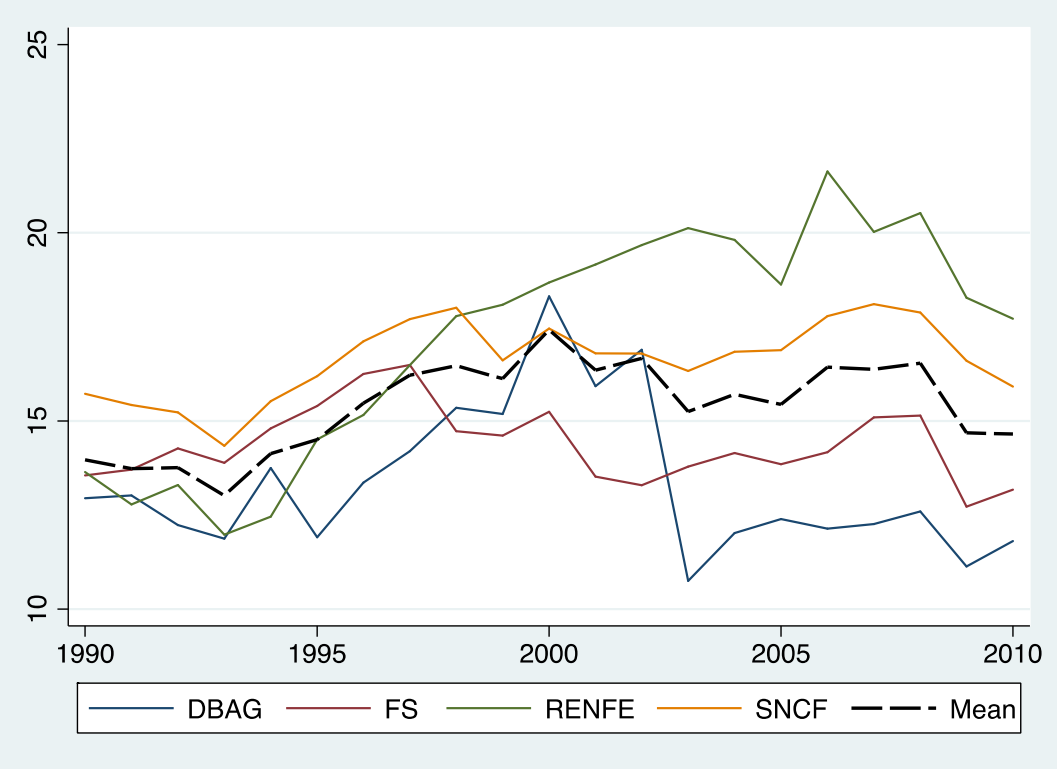


Figure 1-20 : Trends in productivity of locomotives (in millions of traffic units)
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

c Coach productivity

It is equal to the number of passengers-km in relation to the number of passenger cars. The evolution of this indicator is presented in Figure 1-21 (see Appendix 1-15 for the evolution of the index of this variable). The general trend shows that the average productivity of cars took an overall increase throughout the period, although this growth was slowed down by the 2008 crisis. The average growth rate of car productivity is estimated at +1.5% between 1990 and 2012.

For SNCF and RENFE, the temporal evolution of this variable is almost identical. It decreased between 1990 and 1995 (-2.25% per year for SNCF and -1.9% per year for RENFE), while it was on an overall increase for the rest of the period (+2.8% for SNCF and 2.5% for RENFE). For DB, the productivity of cars was globally on an increase between 1990 and 2012, even though the latter decreased between 1998 and 2002. The annual growth rate of cars productivity for DB is estimated at +3%. Lastly, for SF, the productivity of the cars was on a global increase between 1990 and 2008 and then decreased between 2008 and 2012.

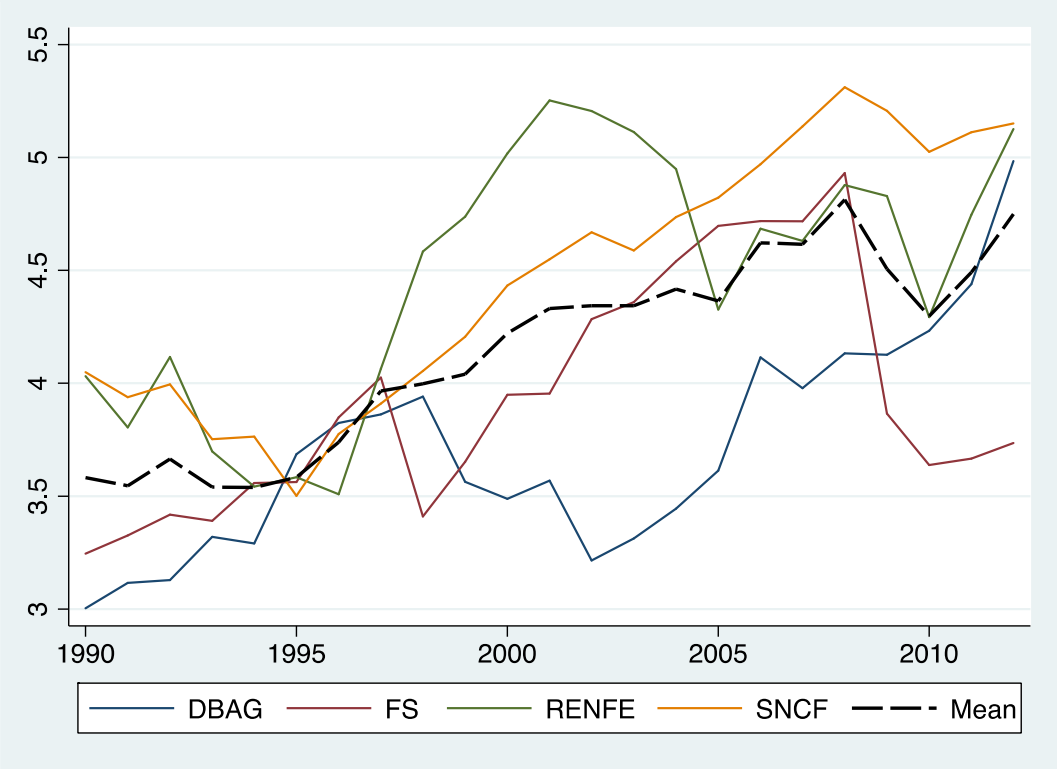


Figure 1-21 : Trends in the physical coach productivity
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

d Productivity of wagons

Productivity of wagons measures the amount of traffic carried by the fleet of trucks. Figure 1-22 shows the evolution of this variable for the four companies in our sample and appendix 1-18 the index for this variable. The evolution is the same regardless of the company. Productivity was globally on an increase over the entire period, even though it fell slightly between 2008 and 2009. The annual growth rate of this indicator is estimated at +14% for DB, +19% for SNCF, +19% % for FS and finally +4% for RENFE.

The analysis of productive performance indicators reveals an overall increase in traffic for the passenger transport activity and a markedly decreasing traffic for the goods transport business. The labor force productivity is globally on an increase over the period, but with a strong heterogeneity between companies. In the same line, the productivity of the rolling stock (locomotive, car, and wagon), is on an overall increase for the whole period.

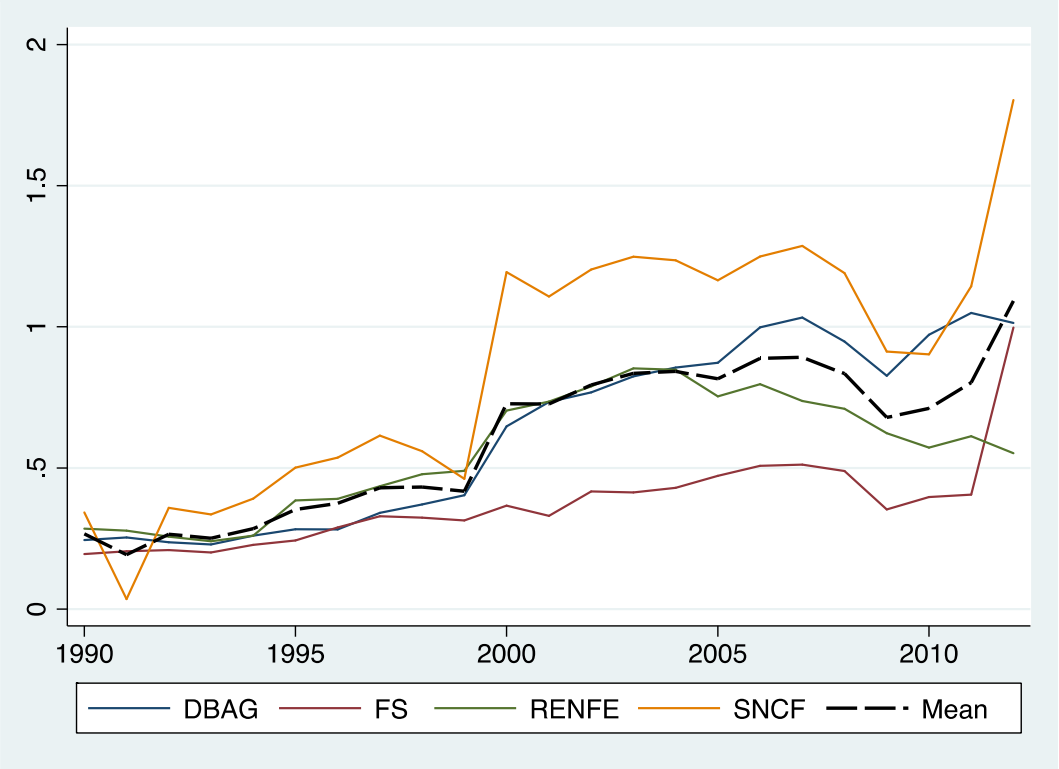


Figure 1-22 : Trends in physical productivity of wagons
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

1.2.5 Financial performance analysis

a The operating ratio

It measures the ability of railways to cover their costs and generate funds for investment. It is defined as being equal to the operating cost relative to operating income. A ratio of less than one shows that the company is able to recover its operating expenses while a ratio greater than one would reflect an inability of the company to cover its operating expenses with operating revenues. The evolution of this indicator is presented in figure 1-23, while appendix 1-16 shows the index of this variable.

For the whole sample, the average of this ratio is 102%. On average, operating revenues do not cover operating costs and therefore the companies are not profitable. Temporal analysis shows that the mean of the ratio decreased over the entire period (see dotted curve in figure 1-23). This result is also observed at the national level.

Between 1990 and 2012, the average exploitation ratio is estimated at 108.2% for FS, 100.1% for DB, 99.4% for RENFE and lastly 98.41% for SNCF. Figure 1-23 shows that between 1990 and 2000, operating ratios are quite divergent and for the most part this

ratio is greater than one. The finding is that there has been deterioration in profitability between these two dates. This drop is higher for RENFE, SF and DB. On the other hand, between 2000 and 2012, these ratios are fairly convergent and they are close to one, reflecting an improvement in profitability.

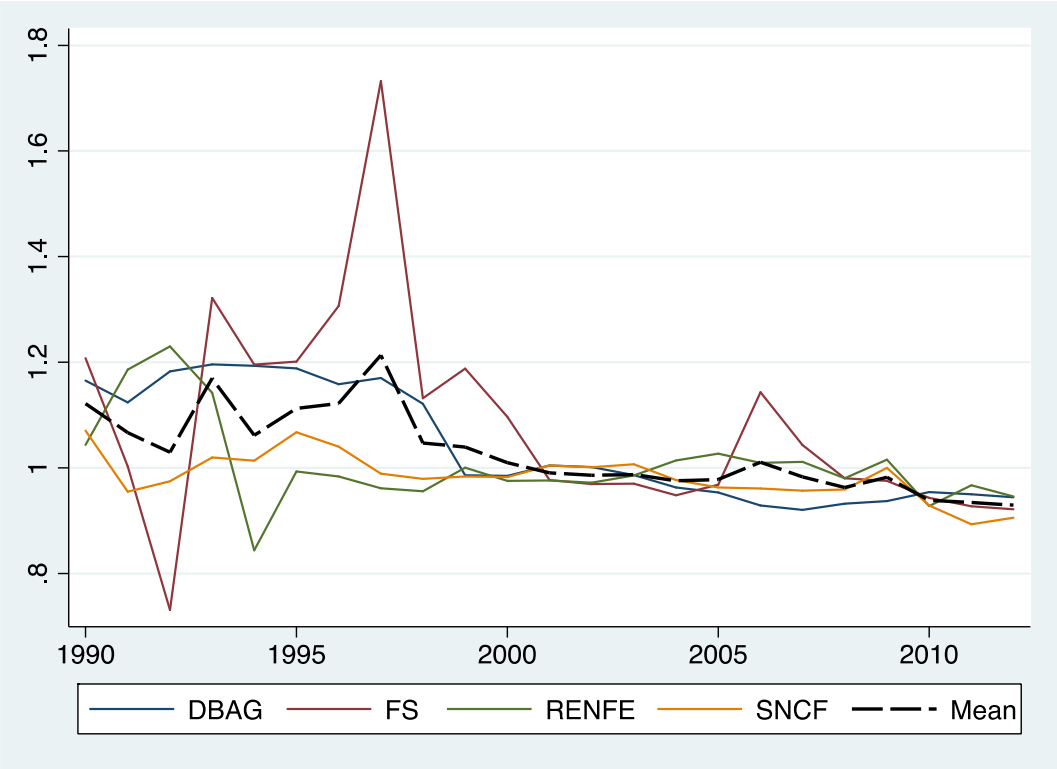


Figure 1-23 : Operating ratio trend
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

b The financial autonomy ratio

It determines the ability of the company to finance itself. It is defined as being equal to shareholders' equity in relation to total capital. Generally, a company is autonomous when more than half of its resources come from its own funds, that is, when it has a ratio of more than 50%. Conversely, if the operating ratio is very low, the company may find it difficult to find new financing to continue to grow. The evolution of this indicator is presented in Figure 1-24.

Between 1990 and 1998, the average financial autonomy ratio for the whole sample is estimated at 34%, while between 2004 and 2012 it is estimated at 41%. These figures show a high degree of external dependence on the railways, resulting in a high debt level. This result can also be seen on a national scale, since between 1990 and 1998, the average

financial autonomy ratio was 25.6% for DB, 23.5% for SNCF, 32.8% for RENFE and 53, 5% for FSs. On the other hand, between 2004 and 2012, it is estimated at 26.2% for DB, 33.9% for SNCF, 35.2% for RENFE and finally 48.7% for FS.

Temporal analysis shows that between 1990 and 1998, the financial autonomy ratio was on a decrease for DB, RENFE and for SNCF while for SF's it was on an overall increase. On the other hand between 2004 and 2012, it was on an overall increase for FS and DB, It was on a decrease for RENFE and SNCF. Taking as a point of reference the year 1990, this ratio dropped for all companies except for FS.

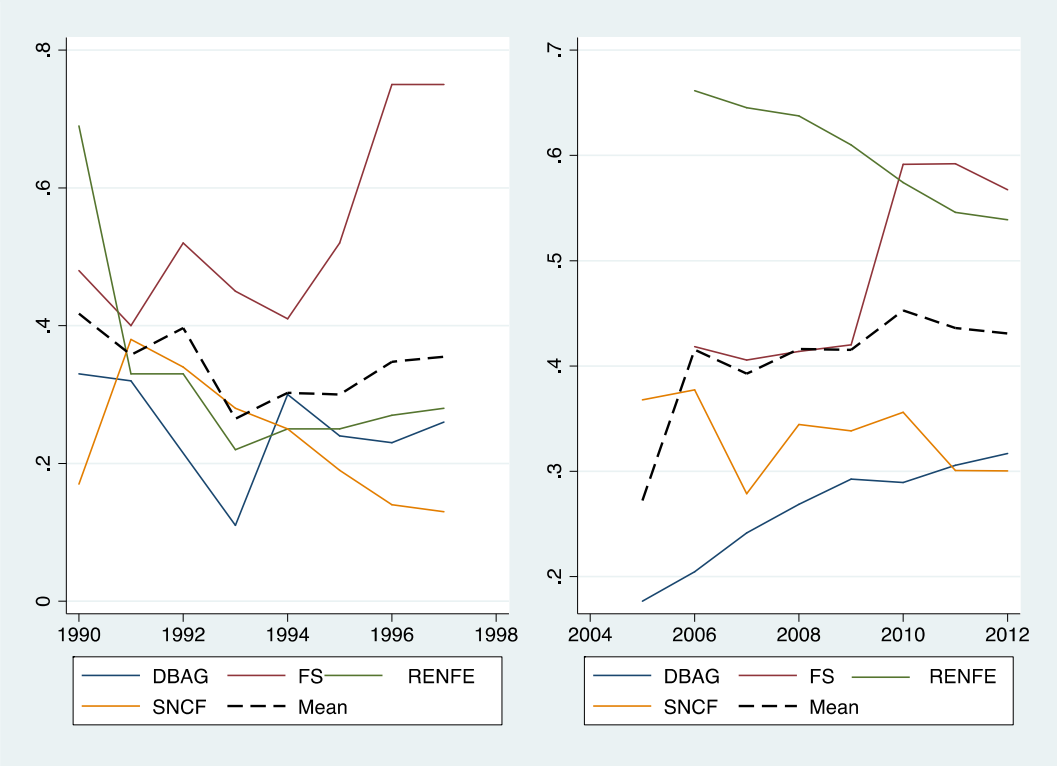


Figure 1-24 : Trends in financial autonomy ratio
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

c The debt ratio

This ratio measures the level of debt that the company incurs in relation to its own funds. The debt ratio can also be interpreted as a financial autonomy indicator of the company, since it measures the degree of dependence of the company vis-à-vis external funders. It is defined as being equal to the total amount of debts in relation to equity. Debts include both long-term debts and short term debts. On average, in 2012 (with 120%), this ratio is well above its 1990 level (97%).

Between 1990 and 1997, the average debt rate was estimated at 202% for SF, 103% for DB, 62% for RENFE and 49%[1] for SNCF. There was a downward trend for RENFE and SNCF, which reflects a debt relief process. On the other hand, for DB and SF, this rate was on an is increase (see Figure 1-25 and Appendix 1-17). Between 2004 and 2012, the average debt ratio was estimated at 228% for DB, 185% for SNCF 2, 180% for RENFE and 58% for FS. There was an overall decrease for DB and RENFE, while there was a continuous growth movement for SNCF and FS.

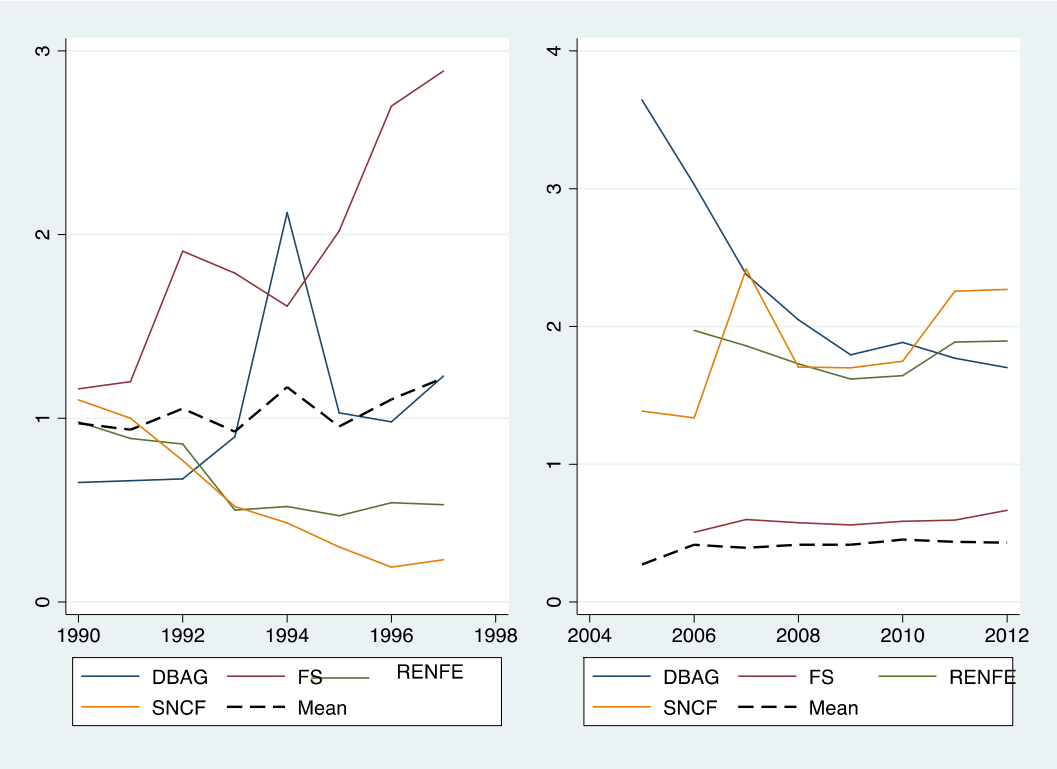


Figure 1-25 : Trends in debt rate
Sources: author using 1990-2012 UIC data & companies' annual reports.

[1]For SNCF, the debt does not include that of RFF (currently SNCF Network).

Conclusion of the first chapter

The performance of the rail sector has long been a major source of concern for domestic public authorities, which has prompted a series of reforms. In Europe, Directive 91-440"on the development of community railways" is pioneer and founder of this vast project. It gives the desired guidelines and recommends in particular promoting independence in the management of railways, as well as their financial consolidation.

The purpose here was to see whether the European railway policy has achieved expected goals. For this, we conducted a comparative analysis of performance of a sample of four companies, DB, FS, RENFE and SNCF, observed between 1990 and 2012. The indicators sought aim at mastering the productive, economic, commercial and financial performance of these four companies.

The main results of this research are contained in Tables 2 and 3. From these results one can observe that:

a) The context of railway activities is given by the evolution of the offer expressed in trains-km. In total, railway market grew fairly little over the period, with 12% more in 2012 compared to 1990. This European progress is almost entirely due to the sustained increase in DB (+40 %).
b) The evolution of the total railway offer conceals a strong contrast between an increase in passenger traffic and a decline in freight: 33.5% for the former, compared with 37.1% for the second between 1990 and 2012. Regarding freight, only DB maintains the volume of its traffic over the period. And for passenger traffic, the supply of SFs is even lower in 2012 than in 1990 (-4.2%).
c) The physical productivity of labour has been a powerful trend since 1990 (+79% on average), which started well before. There are lot of disparities among railways companies. The SNCF stands out for its low growth (only 36%).
d) The expense structure has significantly changed, with a decrease in the share of staff expenses in favour of external expenses. SNCF is characterized by almost all the stability of the proportion of staff expenses over the entire period.
e) The cost per train-km, which is a good indicator of economic efficiency, is also strongly in contrast. Between 1990 and 2012, the DB, SNCF and RENFE saw their unit cost strongly increasing (+71%, +61% and +85%, respectively), the contrary to the SF situation (-10%).

f) Revenue per train-km, an estimator of commercial efficiency, significantly improved on average (from € 0.12 to € 0.18, +50%). This performance shows strong contrasts between DB (+111%), RENFE (+104%) and SNCF (+90%), for which the increase is significant and globally continuous, and on the other hand the SFs, for which the average revenue is barely higher at the end of the period in 1990 (+18%).
g) Fill ratio, another good indicator of commercial performance, is in progress, particularly for freight traffic (doubling), and to a much lesser extent for passenger traffic (+2.2%).
h) The operating ratio improved for all the 4 companies, by 17% on average in 2012, base 100 in 1990. In 2012, the operating income is generally slightly positive, which was not the case in 1990.
i) Conversely, financial sustainability, approximated by the debt ratio, did not generally improve. Only the SFs have substantially reduced their debt.

In sum, as concerns these indicators and the trajectories of the 4 major ones, the situation is today very contrasted and the EFs performances are on average better than in 1990. We are still far from the ambitions of the European Commission for a genuine renewal of the railway industry in Europe.

However, we must acknowledge that our study focuses on a small sample of railway operators that do not integrate new entrants, whose performance may be quite different. For this reason, a review of railway performance per country can not be carried out in the light of the situation of the incumbent operator alone. In addition, we opted, for convenience purpose, for an approach assimilating passengers and freight traffics. It would be preferable, for analysis purposes, to distinguish the two traffics, their dynamics being specific [Kearney (2009); Laroche (2013); Laroche et al. (2016)]. Finally, it should be known, and this is essential, whether the situation found is reversible and whether causes are internal or external to the railway.

Chapitre 2
Production Frontiers and Performance Measurement: Theoretical Approach and Empirical Results

Introduction

In the second half of the 20th century, the industrial economy developed around the SBP (Structure - Behavior - Performance) paradigm implemented by E. Mason and J. Bain. This paradigm responded to the inadequacies of traditional microeconomics when faced with the explanation of corporate performance. According to the traditional paradigm proposed by the Harvard School, the structural characteristics of the market guide the behavior of companies that impact their performance. There was thus a univocal causal relationship, from performance on behavior and behavior to structure. Since then, analysis has expanded and diversified. The introduction of new theories based on modern microeconomics enables us better understand and analyze problems linked to the productive efficiency of organizations (Tirole, 1993).

Over the years, the corporate performance issue, and therefore its measurement has become a recurring subject. According to Pesqueux (2004), performance is polysemic notion and can be considered a strange attractor because of its capacity to absorb several translations: economic (competitiveness), financial (profitability), legal (solvency), organizational (efficiency). In the railway industry, performance has long been a source of interrogations.

Depending on the objectives to be achieved, several indicators can be used to evaluate the railway performance:

- Technical efficiency, which refers to the ability of a company to obtain maximum output with a given level of inputs,
- Allocative efficiency, which measures a company's ability to use its inputs in optimal proportions given their relative price,
- Scale efficiency, which measures the ability of a company to lower its production, costs to increase its level of production,
- Economic efficiency, which simultaneously takes into account technical efficiency and allocative efficiency, and

- Commercial efficiency, which measures the ability of the railways to attract a maximum number of users.

The objective of this chapter is therefore to set out the theoretical framework for performance analysis. The first section will analyze the theoretical foundations of performance, particularly those of production efficiency. The second section presents the instruments of performance analysis, while the third section reviews literature on the subject.

2.1 The Theoretical Foundations of Production Performance

According to neoclassical theory, the market, through the "invisible hand", enables an optimal and efficient use of the scarce resources available in the economy. It thus leads the economic system to the production possibility frontier. From this point of view, studies on technical or economic efficiency would have no raison d'être since the producer is supposed to be rational and capable of maximizing his profit. Therefore each producer would always be on the production frontier or on the cost frontier.

According to modern neoclassical theories, producers never find themselves, at least in most cases, on the production or cost frontier. To prove this, we concentrate here on Leibenstein's X inefficiency theory (1966)

The X inefficiency concept was developed in 1966 by Leibenstein to take into account the fact that certain inefficiencies do not result merely from a lack of resource allocation of factors of production. This is particularly the case of inefficiency linked to staff motivation or to a poor organization of the company. Leibenstein's analysis begins with the questioning of the notion of efficiency as developed by conventional microeconomic theory. He points out that through the theory that the market optimally allocates resources and factors of production, between firms and sectors, the traditional theory analyzes only one type of efficiency: allocative efficiency

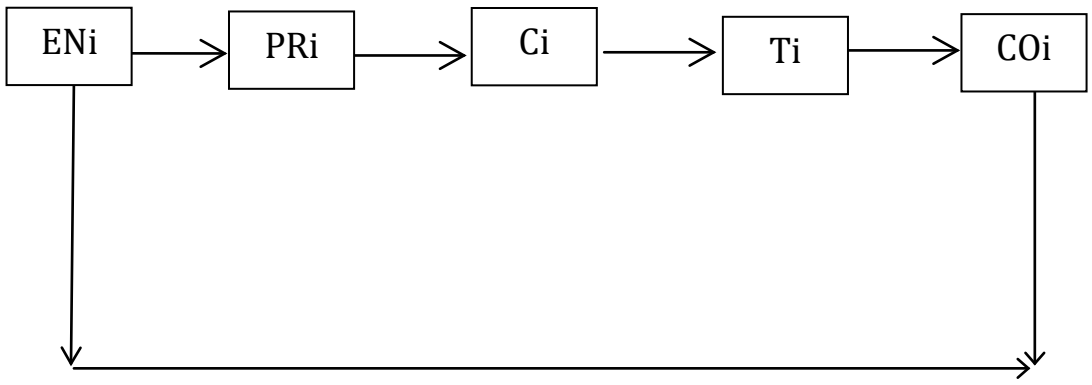
Based on previous empirical research, Leibenstein concludes that firms with the same labour composition (labour factor) and the same technology (capital factor) can achieve unequal performance in terms of the productivity of men and quality of outputs obtained. It is this observation that led the author to say that there is an X factor, different from the traditional factors of production (capital and labour), which explains the efficiency or

inefficiency of firms. For him, there are three reasons that can justify the inefficiency of a company, which are:

- Firstly, the motivation linked to the general conditions of work. For example, for two firms with identical characteristics (same technology, same quality and quantity of labour), the differences in performance could be explained if one considers that "labor contracts are incomplete, some complex machines whose specifications (in terms of production) are fixed, generate performance according to their respective use... It is generally rare that all performance elements be considered by the labour contract".

- The second reason that can justify the degree of inefficiency of a company is that its production function is unknown or that this function is poorly specified.

- The third reason is that in the economy all inputs are not marketed or, even when they are, the conditions for access to these inputs are not the same for all firms. Leibenstein materializes this causal relationship as follows:



With:

ENi: the environment in which the company operates, which can be either competitive or monopolistic

PRi: representative variable of the pressure level in the firm "I"

Ci: choice of effort within company "I"

Ti: representative variable of production technology

COi: Unit production cost.

2.1.1 Microeconomic Analysis of Production Performance

2.1.1.1 Definition of Concepts

- Production efficiency and technical efficiency

The origin of the term "efficiency" is found in the works of Debreu (1951), Koopmans (1951) and Farrell (1957). Koopmans (1951) was the first to propose a measurement of efficiency while the first empirical studies are attributed to Debreu (1951). For Koopmans (1951), the notion "efficiency" is identified with that of technical efficiency. For him, a producer is considered technically efficient if an increase in an output leads to a reduction of at least one other output, or an increase of at least one input. Similarly, a producer is considered technically efficient if a reduction in input leads to an increase in at least one other input or a reduction in at least one output.

This definition was widely criticized particularly by Farrell (1957) and later by Charnes et al. (1985). For these two authors, technical efficiency as defined by Koopmans (1951) is rather relative since it only allows one producer to be compared with other producers. This definition enables the identification of an efficient production unit in relation to an inefficient production unit, but gives no indication of the degree of inefficiency.

Debreu (1951) uses the notion of resource utilization coefficient to define technical efficiency. For him, the proportion of inputs that could be reduced or the proportion of outputs that could be increased determines technical efficiency. In other words, from the point of view of inputs, technical efficiency determines the input proportions that a firm can reduce while the level of outputs remains unchanged. On the other hand, from the point of view of outputs, technical efficiency measures the output proportions that the firm could increase with the input level unchanged. The measurement proposed by Debreu (1951) is termed radial since it is based either on the maximum input proportions to be reduced or on the maximum output proportions to be increased.

Applied to the railways, this definition indicates that, from the point of view of inputs, production efficiency determines the proportions of inputs that the railways could reduce while the level of output remains unchanged, evaluated for example in trains/km. From the output point of view, productive efficiency makes it possible to determine the proportions of outputs that the railways could increase with the same level of inputs. Technical efficiency

can be understood in the same way. From the point of view of inputs, it determines the proportion of inputs that the railways can reduce while keeping the level of output unchanged, evaluated in tons/km or passengers/km. In terms of outputs, technical efficiency determines the proportions of outputs evaluated in tons/km and passengers/km that the railways could increase with the same level of inputs.

In economics, the notion of efficiency is linked to the Pareto optimum since an input-output vector will be called optimal Pareto if there is no possibility of increasing outputs or reducing inputs. Pareto-Koopmans' effectiveness measurement has been the subject of several studies, including works by Färe (1975) Färe and Knox Lovell (1978), Robert Russell (1985, 1988,1990).

- Allocative Efficiency

It reflects the ability of a company to use its inputs in optimal proportions given their respective prices.

Figure 2-1 gives a better understanding of these two concepts for the case where the firm uses two production inputs (x_1 and x_2). TT' represents the production isoquant and AA' represents the isocost.

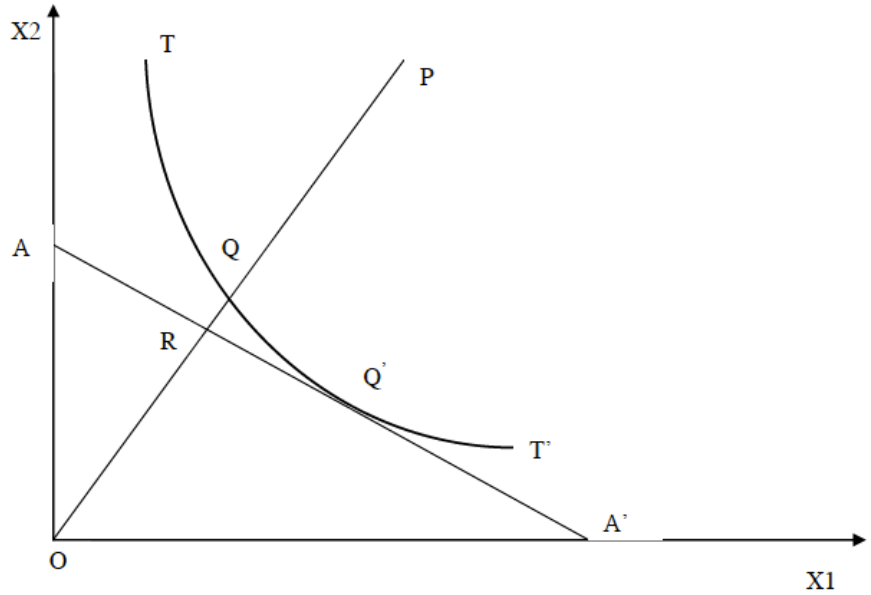


Figure 2-1: Measurement of technical and allocative efficiency
Sources: Farrell, M.J (1957)

In this figure we note that at point P, the inefficiency is given by the QP segment. Thus it is possible for the firm represented by the P point to produce the same level of outputs with a decrease of all the inputs in a QP/OP proportion. Farrell (1957) therefore proposes to measure the degree of inefficiency by the QP/OP ratio, which varies between zero and the

unit. All the points on the isoquant TT' (also called the technical efficiency frontier) are said to be technically efficient.

A combination of factors is said to be optimal in allocation if the marginal rate of substitution is equal to the price ratio. Thus all the points on the AA' isocost are considered allocatively efficient. For points P and R, the level of allocative inefficiency can be given by the ratio OR/OQ. Note that RQ represents the cost reduction if the production corresponds to the point Q'. The latter is efficient from the allocative point of view since it belongs to the AA' isocost, and from a technical point of view since it belongs to the TT' isoquant. The product of technical and allocative efficiency is called total efficiency (Farrell, 1957). Thus, in the definition of efficiency, Farrell (1957) dissociates what is technical (technical efficiency) from what results from a bad choice in relation to the price of inputs (allocative efficiency).

2.2 Instruments of Production Performance Analysis

The measurement of production performance is essentially based on an estimate of a production frontier whose initial work is attributed to Farrell (1957). He begins from the idea that the available information on a given activity should enable the estimation of the *"best practice envelope"* for this activity.

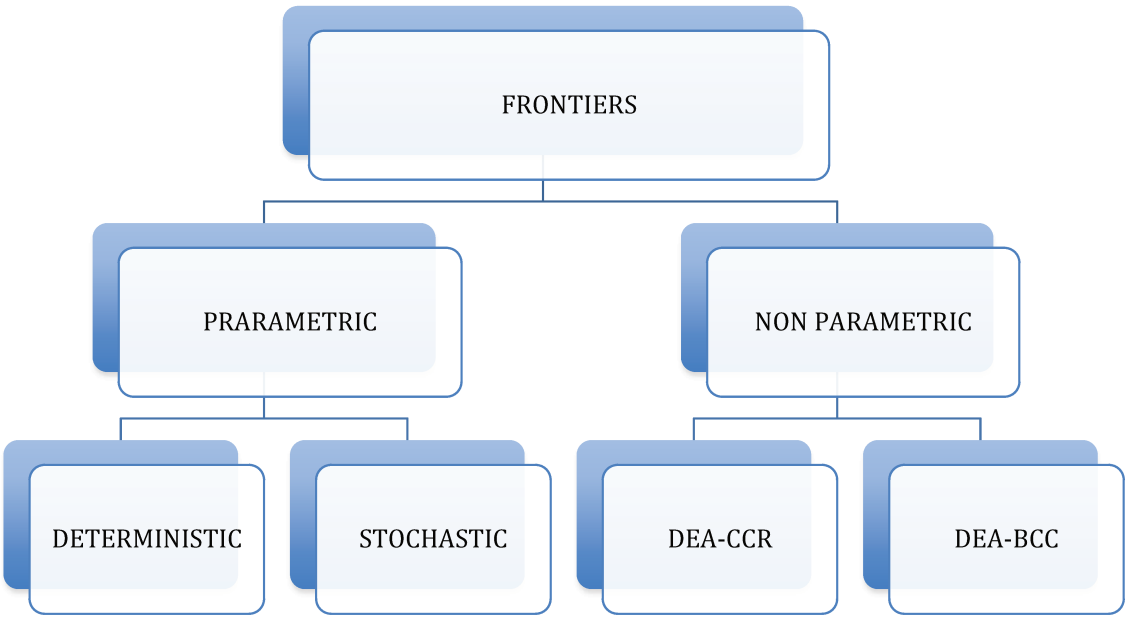


Figure 2-2: Frontier families
Sources: authour

This is how the method of frontiers came into existence, which nevertheless found its rise twenty years later with publications by Aigner et al (1977), Meeusen and van Den Broeck (1977) and by Charnes, Cooper, and Rhodes (1978). Two main families of methods are generally used to build frontiers and measure performance: the parametric methods and nonparametric methods (see Figure 2-2). Parametric frontiers assign a particular functional form to the production function, the cost function or the profit function, but the non-parametric frontiers do not attribute any functional form. In this research, we will not develop the nonparametric approach, since it will not be used in the sequel. Nevertheless it is important to note that some authors use both approaches for comparison purposes.

2.2.1 Parametric Frontiers

The main characteristic of frontier models is that they impose a particular functional form on the function to be studied. To facilitate understanding, we will limit our analysis to the presentation of frontier models, to hypotheses and finally to the estimation techniques that can be mobilized to estimate these different models.

2.2.1.1 Modeling of Parametric Frontiers

a The Case of An Output

Take a company 'i' which uses inputs 'k' to produce an output 'Y'. The production frontier can be written as follows:

Equation 2-1

$$Y_i = f(X, \beta)e^{\varepsilon_i}$$

With: X, the vector of the inputs k, β the vector of the frontier parameters and ε the term that measures the difference between the observed output Y and the maximum output realized by the effective technology (the output estimated by the frontier), f(.) the technology or production function sanctioning the following properties:

- f(.) is defined from R^+ to R^+
- f(.) is a concave function
- f(.) is deriveable in relation to each input thus the expression: $\frac{\partial f}{\partial x} > 0$

Let us assume that the firm controls its production process perfectly, which means that purely random factors such as measurement errors or accidental shocks are not taken into account in modeling, then the level of inefficiency (u) is given by the term ε. The equation can therefore be written as follows.

Equation 2-2: Deterministic frontier model

$$Y_i = f(X,\beta)e^{-u_i}$$

In this equation, u_i represents the term inefficiency; it is associated with a negative sign because the degree of inefficiency aims to reduce production level. equation 2-2 is thus a parametric and deterministic frontier model since inefficiency results, for example, from mismanagement, poor choice of technology or incompetent personnel.

If in addition to the technical inefficiency, the company takes into account the existence of the random shocks, thus equation 2-1 will become:

Equation 2-3: Stochastic frontier model

$$Y_i = f(X,\beta)e^{v_i-u_i}$$

Theoretically, the use of the stochastic frontier model makes it possible to isolate the term 'purely random error' (v_i) from that reflecting the technical inefficiency of the firms (u_i). equation 2-3 presents the stochastic frontier model. In this approach, the performance of a firm depends on its level of technical efficiency, that involves all the factors attributable to management errors and uncontrollable random phenomena such as strikes, fires, machine breakdowns, etc., which differ from one firm to another [Chaffai (1989)]. The development of stochastic frontier models is attributed to Aigner, al. (1977) and to Meeusen and van Den Broeck (1977).

As mentioned above, parametric frontier models assume that a particular functional form is attributed to the production function. The most used form is the translog function since it is easy to calculate, it makes it possible to impose the conditions of homogeneity and moreover, it is flexible. Following this approach, equations 2-2 and 2-3 could respectively be rewritten as follows:

Equation 2-4: Determinsitc parametric frontier (translog)

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{K} \beta_j x_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{K} \sum_{k=1}^{K} \beta_{jk} x_{ij} x_{ik} - u_i$$

and

Equation 2-5: Stochastic parametric frontier (translog)

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{K} \beta_j x_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{K} \sum_{k=1}^{K} \beta_{jk} x_{ij} x_{ik} + v_i - u_i$$

Equations 2-4 and 2-5 assume that firms use inputs K to produce an output, so they are identical to the translog production functions. While this approach can be used to evaluate the efficiency of certain industries, for the railway industry it seems difficult to apply since in this industry there are averagely two outputs, corresponding to the passenger transport activity and transport of goods. Nevertheless, some authors (Friebel, Ivaldi, and Vibes 2005), used this approach assuming that output Y can be written as a linear combination of passengers/km and tons/km.

b Multiple Outputs Case

To remedy the limitations of previous models, Shephard's new approach (1970) is based on the estimation of a distance function. This function allows the modeling of multi-product and multi-input technologies. According to Färe and Primont, (1995), there are two main families of distance function: the input-oriented distance function and the output-oriented distance function. The estimate of the input-oriented distance function enables us answer the question: *"In what proportions can a decision unit reduce its inputs while keeping its output level unchanged?"* Hence the following relation:

Equation 2-6: Input-oriented distance function

$$D_I(x,y) = \max\left\{\rho : \left(x/\rho\right) \in L(y)\right\}$$

With L(y), the set of input vectors, $x \in R_+^k$, which enable us produce the output vector, $y \in R_+^M$. Say: $L(y) = \{x \in R_+^k : x \; can \; produce \; y\}$. $D_I(x, y)$ is a homogeneous, linear, concave function at x and quasi concave at y. It is also an increasing function at x and a decreasing function at y. Therefore, we can say, if x ∈ L(y) then $D_I(x, y) \leq 1$, whereas if x belongs to the frontier of the whole L(x), that is, to the y isoquant, then $D_I(x, y) = 1$.

In the same vein, the estimate of the output-oriented distance function makes it possible to answer the following question: *In what maximum proportion can a decision unit increase its production level while keeping the level of inputs unchanged?* This can be translated as follows:

Equation 2-7: Output-oriented distance function

$$D_O(x,y) = \min\left\{\theta : \left(y/\theta\right) \in P(x)\right\}$$

Therefore, P(x), the whole of output vectors, $y \in R_+^M$, which could be obtained using the input vector $x \in R_+^k$. $D_O(x, y)$ is a positive, homogeneous, linear and increasing function at y. On the other hand, it is a decreasing function at x (Lovell et al. 1994). Thus we have $D_0(x,y) \leq 1$ assuming that y belongs to the set of production possibilities, that is, $[D_0 \leq 1\ if\ y \in P\ (x)]$ and $D_0(x,y) = 1$ assuming that y belongs to the production possibilities frontier P(x) (see Figure 2-3).

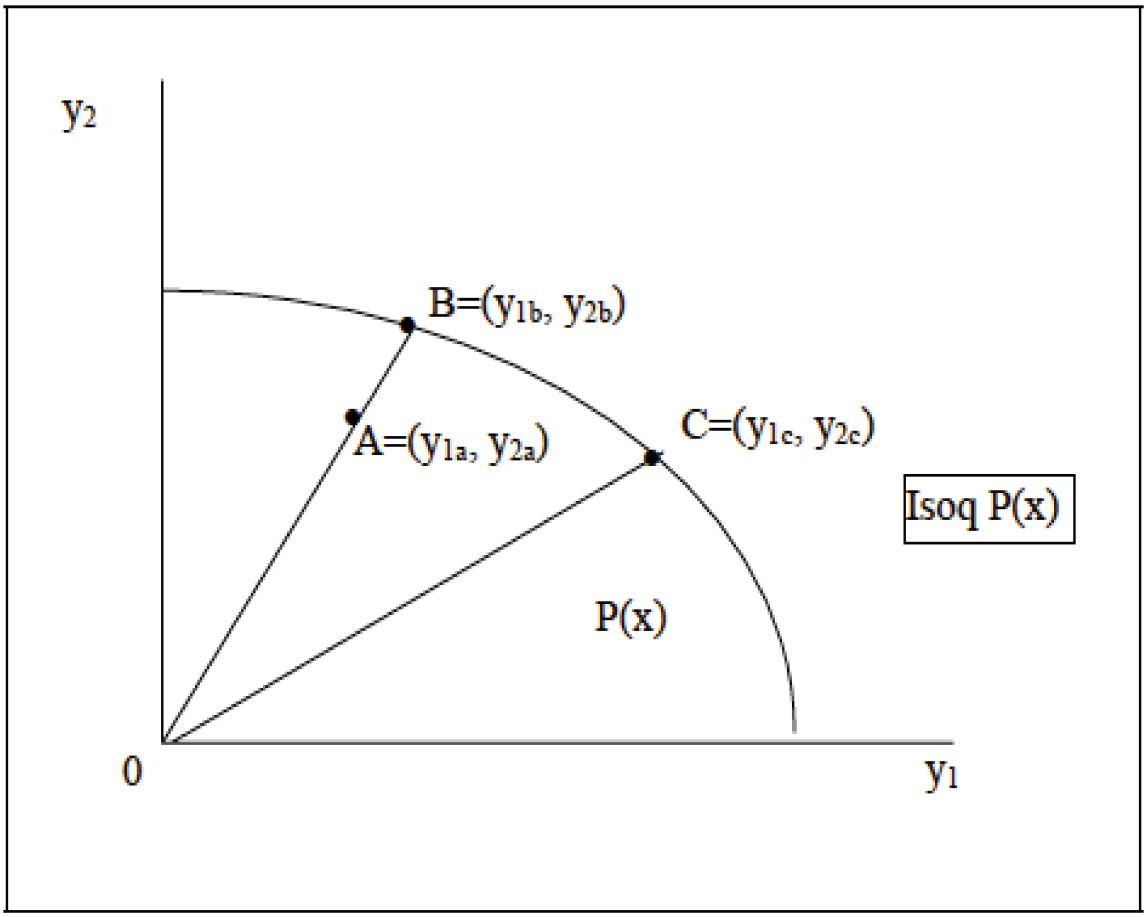


Figure 2-3: Output-oriented distance function and the production whole
Source: Coelli and Perelman (2000)

Assuming that companies use K inputs to produce M outputs and that the technology can be represented by a translog function, then the translog distance function can be written generally as follows:

Equation 2-8: General form of a translog distance function

$$\ln D_i = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m \ln y_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k \ln x_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} \ln y_{mit} \ln y_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} \ln x_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} \ln x_{kit} \ln y_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K} \gamma_{1k} T \ln x_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T \ln y_{mit}$$

T represents the time variable.

Since the distance functions are homogeneous, we can say D (**φ**x, y) = **φ**D(x, y). According to the recommandation of Lovell et al. (1994), the multiplier factor **φ** can take the value $1/x_k$ or $1/y_m$ with x_k the input number k and y_m, the output number m.

- For **φ=** $1/x_k$, we can write $D(x/x_k, y) = D(x, y)/x_k$. If we replace D_i of equation **2-8** with this last relation, then the distance function becomes:

Equation 2-9: Input-oriented distance function (translog)

$$\ln D - \ln x_k = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m \ln y_{mit} + \sum_{k=1}^{K-1} \beta_k \ln x^*_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} \ln y_{mit} \ln y_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1} \beta_{kl} \ln x^*_{kit} \ln x^*_{kit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} \ln x_{kit} \ln y_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T \ln x^*_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T \ln y_{mit}$$

With $x^*_{it} = x_{it}/x_{kit}$

- Similarly, if we take **φ=** $1/y_m$ then equation **2-8** becomes:

Equation 2-10: Output-oriented distance function (translog)

$$\ln D - \ln y_m = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m \ln y^*_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k \ln x_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M-1}\sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} \ln y^*_{mit} \ln y^*_{mit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} \ln x_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} \ln x_{kit} \ln y^*_{mit} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T \ln x_{kit} + \sum_{m=1}^{M-1} \phi_{1m} T \ln y^*_{mit}$$

With $y^*_{it} = y_{it}/y_{mit}$

It is important to note that in equations 2-9 and 2-10, *lnD* is not observable. As a result, the format of the deterministic or stochastic frontier model depends on the hypothesis made on *lnD*.

- Assuming that *lnD* is a random error term (*lnD*= u*)* then equations 2-9 and 2-10 will become deterministic frontier models which can be estimated by the corrected least square technique as presented briefly in the following section. These equations can thus be rewritten as follows:

Equation 2-11: Input-oriented deterministic production frontier and with translog technology

$$-lnx_k = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m lny_{mit} + \sum_{k=1}^{K-1} \beta_k lnx^*_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} lny_{mit} lny_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1} \beta_{kl} lnx^*_{kit} \ln x^*_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} lnx_{kit} lny_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx^*_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T lny_{mit} - u_{it}$$

Equation 2-12: Output-oriented deterministic production frontier and with translog technology

$$-\ln y_m = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m lny^*_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k lnx_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M-1}\sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} lny^*_{mit} lny^*_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} lnx_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} lnx_{kit} lny^*_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx_{kit} + \sum_{m=1}^{M-1} \phi_{1m} T lny^*_{mit} - u_{it}$$

In these two equations, $u_i \sim > N\ (\mu, \sigma_u)$

- Finally, assuming that lnD can be written as the sum of errors ($-lnD = v_{it} - u_{it}$) with $v_{it}\ and\ u_{it}$ which represent respectively the error term and the inefficiency term. Thus, Equation 2-9 and equation 2-10 will be called stochastic frontiers model, which can be estimated using the maximum likelihood technique. These equations can therefore be written as follows:

Equation 2-13: Input-oriented stochastic production frontier with translog technology

$$-lnx_k = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m lny_{mit} + \sum_{k=1}^{K-1} \beta_k lnx^*_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} lny_{mit} lny_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1} \beta_{kl} lnx^*_{kit} \ln x^*_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} lnx_{kit} lny_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx^*_{kit} + \sum_{m=1}^{M} \phi_{1m} T lny_{mit} + v_{it} - u_{it}$$

Equation 2-14: Output-oriented stochastic production frontier with translog technology

$$-\ln y_m = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m lny^*_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k lnx_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M-1}\sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} lny^*_{mit} lny^*_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} lnx_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} lnx_{kit} lny^*_{mi} + \lambda_1 T + \lambda_{11} T^2 + \sum_{k=1}^{K-1} \gamma_{1k} T lnx_{kit} + \sum_{m=1}^{M-1} \phi_{1m} T lny^*_{mit} + v_{it} - u_{it}$$

2.2.1.2 Estimation Techniques

Two techniques are generally used to estimate parametric frontier models. The corrected least squares technique, which is more suitable for deterministic frontiers estimation, and the maximum likelihood technique, which is more suitable for stochastic frontiers estimation.

a Corrected Least Squares (CLS) Technique

Remember that in a deterministic model there exists a single error term u_i which represents the level of inefficiency. This error term follows a normal law of positive mean [E (u) $= \mu$] and of finite variance δ_u^2. The CLS method consists, firstly, in estimating the translog distance function by the ordinary least squares (OLS) technique. In this first step, inefficiency is not taken into account. In the second step, getting to the production frontier is done by correcting the constant deterministic frontier term using the moments of the least squares residues obtained in step 1 and then the new equation is re-estimated by the least squares.

Indeed, in the first stage, three hypotheses are generally formulated. CLS assume that:

- x_i are independent of the error term,
- the error terms are identically and independently distributed,
- x_i are observed without measurement error [see Greene (1980, Pg 31) for details].

Under these three hypotheses, the use of the OLS in step 1 makes it possible to obtain unbiased and convergent estimators for all the parameters except for the constant α_0. To remedy this, Richmond (1974) proposes the correction of the constant term by the moments of the u term. Thus, we can write: $\alpha_0' = \alpha_0 - \mu$ et$u_i' = \mu - u_i$ with $\mu = E$ (u). The second stage of the CLS is therefore to estimate, using the OLS technique, the new deterministic frontier in which the error term and the constant are replaced respectively by u_i' and tα_0'.

b The Maximum Likelihood Technique

Estimating equations 2-13 and 2-14 using the maximum likelihood technique requires hypotheses on the law of the error term (v_{it}) and on the law of the inefficiency term (u_{it}). The following are the generally accepted hypotheses:

i. variables u_{it} and v_{it} are independent

ii. variables v_{it} are identically and independently distributed according to a normal law of finite variance zero mean ($v_{it} \sim > N\ (\mu, \sigma_v)$

iii. u_{it} variables are identically and independently distributed according to a semi-normal law of zero mean and of constant variance. $u \rightarrow |N(0, \sigma_u^2)|$

To write the likelihood function, the following hypotheses must be formulated:

iv. $f_{u_i, v_i}(v_i, u_i) = f_v(v_i) f_u(u_i)$: the joint density is equal to the density product

v. $f_{\varepsilon,u}(\varepsilon_i, u_i) = f_u(u_i) f_v(\varepsilon_i + u_i)$ with $\varepsilon_i = v_i + u_i$

With these two hypotheses, the marginal density of ε_i is given by the following relation:

$$f_{\varepsilon,}(\varepsilon_i) = \int_0^{+\infty} f_u(u_i) f_v(\varepsilon_i + u_i) du_i$$

Under all of these conditions, the logarithm of the likelihood function can be written as follows:

$$lnL_i(\alpha, \beta, \sigma_u^2, \sigma_v^2 | lnY_i, X_i) = \ln f_{\varepsilon,}(Y_i - \alpha - \beta^T X_i | \sigma_u^2, \sigma_v^2)$$

The concrete form of equation 12 depends on the distribution made on the terms u and v. The most commonly used distributions for u are: the semi-normal law, the normal truncated law around a non-zero value, the exponential law, the gamma law. For the term v, we generally use the normal zero-centered and constant variance law.

We can thus write the likelihood of the stochastic frontier model for which u follows a semi-normal zero-mean and constant variance law while v follows a normal centred zero-mean constant variance law. Greene (2008) provides further details relating to the use of the other laws.

If $u \rightarrow |N(0, \sigma_u^2)|$ and $v \rightarrow N\ (0, \sigma_v^2)$ then the joint density of u and v is given by:

$$f(u, v) = \frac{1}{\pi \sigma_u \sigma_v} exp[-(u^2/2\sigma_u^2) - (v^2/2\sigma_v^2)]$$

If we replace v in relation to u and ε we obtain the following relation:

$$f(u, \varepsilon) = \frac{1}{\pi \sigma_u \sigma_v} exp[-(u^2/2\sigma_u^2) - (\varepsilon^2 + u^2 + 2u\varepsilon)/2\sigma_v^2)]$$

The density of ε (f (ε)) which is given by the complete $f(u, \varepsilon)$ as concerns u, could be written as follows:

$$f(\varepsilon) = \left(\frac{2}{\sigma}\right) f^*\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \left[1 - F^*\left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right)\right]$$

With:

$-\infty \leq \varepsilon \leq +\infty, \sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ and $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$

F*(.) designates the function of an allocation of a normal-centred reduced distribution and f*(.) designates its density. The likelihood logarithm of equation 10 can thus be written as follows:

Equation 2-15: Neperian Logarithm of the Likelihood Function

$$\ln L(Y/\Phi, \lambda, \sigma^2) = N \ln \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} + N \ln \sigma^{-1} + \sum_{i=1}^{N} \ln\left[1 - F^*(\varepsilon_i, \lambda, \sigma^{-1})\right] - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i^2$$

The easy maximisation of equation 2-15 gives us the values of parameters $\beta, \lambda\ and\ \sigma$. The calculation of the first derivatives to the vector Φ (vector of all estimable parameters) and to

two parameters λ and σ^2 and the cancellation of these derivatives, leads to the corresponding estimators which are solutions to the likelihood equations system that should be solved by means of the optimisation algorithm. For details on this step, see Greene (2005) and Porcelli (2009).

2.2.2 Measurement of Total Factor Productivity and its Components

Defined as the output/input ratio, total productivity measures the growth in productivity of an industry or country between two given periods. It is a technical efficiency change function and can be assessed by the Malmquist index (Färe et al., 1994). The sum of this indicator allows the least performing companies to keep up with the leaders in innovation and technical efficiency improvement (Nodjitidjé, 2011).

Based essentially on linear programming, the Malmquist index is calculated empirically in terms of distance function by comparing the output obtained duing period t with the inputs of this period to the output obtained duing period t with the inputs of the period t+ 1. It is understood that originally, the Malmquist index was based essentially on the estimation of a non-parametric frontier. With the development of parametric frontier models, it is now possible to calculate the change in productivity factor using the estimated coefficients of the distance function. In this approach, the change in total productivity factors can be broken down into three factors: technological change, technical efficiency change and scale efficiency change, hence the following relationship:

Equation 2-16: Break down of the change in productivity factors

$$TFP = TEC \times TC \times SEC$$

Thus:

TPF: Total productivity factors change

TEC: Technical efficiency change

TC: Technology change

SEC: Scale efficiency change

If we apply the natural algorithm to equation 2-16, it becomes:

$$\ln TFP = \ln TEC + \ln TC + \ln SEC$$

a Technical Efficiency Change (TEC)

It is obtained by comparing the technical efficiency at period t with the technical efficiency at period t+ 1, whence the following relation: $TEC = \frac{TE_{t+1}}{TE_t}$. In the linear form we have: $\ln TEC = \ln TE_{t+1} - \ln TE_t$. With: $TE = E\{\frac{\exp(-u_{it})}{v_{it}-u_{it}}\}$, the technical efficiency level.

b Technology Change

It measures efficiency caused by the introduction of new equipment or processes into the production process. This variation is therefore given by the arithmetic mean of the derivative with respect to the time of the distance function logarithm. The technological change can thus be comprehended through the average speed of displacement between two instants, t and t+ 1. This is seen in the following formula:

$$TC = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial \ln D_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln D_{it+1}}{\partial t}\right]$$

Assuming that technology is represented by a translog function (see equation 28) then the derivative of

$$\frac{\partial \ln D}{\partial t} = \lambda_1 + 2t\lambda_{11} + \sum_{k=1}^{K}\gamma_{1k}\ln x_{kit} + \sum_{m=1}^{M}\phi_{1k}\ln y_{mit}$$

c Scale Efficiency Change

It is worth noting that scale efficiency determines the extent to which an institution operates with increasing or decreasing returns to scale, which defines the optimum size of the firm. This notion is closely related to the cost of production. Indeed, there is an increase in returns or economies of scale when the production of an additional unit is accompanied by a decrease in the unit cost. When the case is otherwise, we note a decrease in returns or economies of scale. After the estimation of a distance function, the scale efficiency change is given by the following formula:

$$SEC = \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\left[\left(SF_{it+1}\varepsilon_{mit+1} + SF_{it}\varepsilon_{mit}\right)\left(\ln y_{it+1} - \ln y_{it}\right)\right]$$

With ε_{mit}, production elasticity and SF a scale factor which are calculated through the following formulas:

$$\varepsilon_{mit} = \frac{\partial \ln D}{\partial y_{mit}} = \alpha_m + \sum_{m=1}^{M} \alpha_{mi} \ln y_{mit} + \sum_{k=1}^{K} \delta_{ki} \ln x_{kit} + \phi_m t$$

$$SF = \frac{\varepsilon_{it} + 1}{\varepsilon_{it}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_{it} = \sum_{m=1}^{M} \varepsilon_{mit}$$

2.3 Railway Performance Analysis: some lessons from the past

This section aims to present a review of a non-exhaustive literature, of studies on the evaluation of the production performance of railway companies. Thus, the section will be structured as follows: In a first sub-section, we present the results based on the estimation of the non-parametric frontiers, while the second sub-section presents the results based on the parametric properties frontiers estimation.

2.3.1 A Few Empirical Results Obtains Using Non-Parametric Methods

Among the authors who used this approach to evaluate railway efficiency and productivity, we have the following: Cantos et al. (1999); Li and Hu (2011); Kabasakal et al. (2013); Yu (2008). Their research has been summarised on table 2-1.

To analyse railway total productivity factor changes, Cantos et al. (1999b) uses the data envelopment technique (DEA method) to estimate the distance function. For these authors, the analysis of the components of total productivity factor change is quite important since a significant increase in productivity is not only related to a significant variation in the efficiency level but also on a significant increase in technical progress. The analysis of technical progress is therefore important for the railway companies because productivity is closely linked to the level of technological development.

These authors then apply this approach to a panel of 17 European railway companies, observed between 1970 and 1995. The results show that cumulative growth in total productivity factor over the period is estimated at 30%; this increase being mainly concentrated over the period 1987-1995. This study also shows that, on average, productivity growth is essentially determined by the increase in technical progress (+ 15%). The analysis of time shows that between 1970 and 1980, variations in technical progress contributed

negatively to the calculation of total productivity, whereas between 1980 and 1995, these changes contributed positively to the achievement of productivity gains. These authors emphasize that the negative contribution of technical progress between 1970 and 1980 can be justified by the impact of external factors on rail transport such as the oil crisis of 1970, a drop in fuel prices and a sharp decline during this period for railway demand.

According to Yu (2008), the production process in the railway industry involves two main stages. The first stage relates production inputs to intermediate outputs such as the number of passenger trains/km and goods. The second stage relates intermediate outputs to final outputs, which are the number of tons/km and passengers/km. Evaluating the effectiveness of companies is therefore a question of assessing the effectiveness of each step of the process.

This complex process of production enables us distinguish three levels of efficiency. Productive efficiency, obtained in step 1 and consumption efficiency obtained in step 2. Lastly, the third level, technical efficiency is obtained by directly connecting the inputs of the Step 1 and the outputs of step 2.

This structure enables the author estimate three input-oriented distcance functions using a non-parametric method (the data envelopment method).

- The first distance function uses as input, the number of passenger cars, the number of trucks, the length of the lines and the company's manpower. The number of goods and passenger trains/km are used as outputs.
- The second function relates the number of goods and passenger transporting trains/km used as production inputs, while the number of tons/km and passengers/km are outputs.
- The third function, which estimates technical efficiency, relates the number of passenger cars, the number of trucks, the length of the lines, the number of employees as inputs and the number of tons/km and passengers/km as outputs.

This methodology is applied to a sample of 14 railway companies from Western Europe, 15 companies from Eastern Europe, 5 from Africa and 6 from Asia. The results show that, from the point of view of technical efficiency, the best performing companies are those of Western Europe. On the other hand, as per commercial efficiency, the African companies are the most efficient.

To evaluate efficiency and decompose the total productivity of the Chinese railway companies, Li and Hu (2011) use the data envelopment method to estimate several functions.

The research model proposed by these authors is based on the idea that rail transport operations are carried out mainly in three stages.

- The production process in which the production inputs are transformed into intermediate outputs: at this level, the authors estimate an input-oriented production function with constant output, in which the output is evaluated by the number of locomotives/kilometers. As inputs, the authors retained the number of employees, the length of the network, the immobilized capital, the number of locomotives and the number of passenger trains. The efficiency obtained here is called production efficiency.
- The consumption process in which the intermediate output (the number of locomotives/kilometers) is transformed into two products, namely the number of passengers/km and the number of tons/km. Given the nature of the variables involved in this process, the authors choose to estimate an output-oriented distance function to evaluate consumption efficiency.
- The income process in which the number of passengers/kilometers and the number of tons/km are converted into passenger and freight revenue, respectively. To evaluate income efficiency, the authors estimate an output-oriented distance function in which the number of passengers/km and the number of tons/km were used as production inputs, while the income of the passenger transport activity and income from freight activity were used as outputs.

It is important to note that for each stage, the authors estimate the Malmquist's productivity index to identify the main total productivity components. The three components chosen are the change in technical progress, change in economies of scale and the change in efficiency level.

To illustrate this methodology, the authors use a panel of 14 Chinese railway companies observed between 1999 and 2008 and the main results are as follows:

- Railway companies are mostly performing at Step 1 since production efficiency is significantly higher than other efficiencies,
- Averagely, technical progress is considered as the main factor justifying the existence of productivity gains.

Kabasakal et al. (2013) also use the data envelopment technique to estimate a constant returns distance function (known as the CCR model) and a variable/return distance function (known as the BCC model). Based on these estimates, the authors could assess the performance of railways companies using two indicators: technical efficiency and allocative

efficiency. In this approach, the authors also use the data envelopment method to estimate the Malmquist's productivity index and its key determinants, namely, change in technical progress, change in scale efficiency, and the level of technical efficiency.

To test their method, the authors use a panel of 31 railway companies distributed around the world and observed between 2000 and 2009. This study produced the following:

- The estimate of the CCR model shows that at the beginning of the period, 17 of the 37 companies are technically efficient. At the end of the period, the number of efficient companies is estimated at 18.
- In the same vein, the results of the BCC model estimate show that at the beginning of the period, 20 of the 34 companies are technically efficient. At the end of the period, this number increased to 24.
- Over the period as a whole, average growth in total productivity factor is estimated at 0.3%.

The results of this study point to the reality that railway performance evaluation can be very sensitive to the model, to be estimated and also to the estimation technique to be used.

Table 2-1:A few empirical results obtained using non-parametric frontiers

Authors	Cantos and all (2000)	Li and Hu (2011)	Kabasakal et al (2013)	Hu (2008)
Model	Non parametric frontiers	-Non parametric frontiers -DEA -Production efficiency	- Non parametric frontiers - DEA, CCR, BCC - Technical efficiency	- Non parametric frontier - Distance function - Production efficiency
Sample	European Panel: 1970-1995	Panel of 14 Chinese companies: 1999-2008	Panel of 31 companies: - 25 European - 6 non European	Panel: 40 companies -29 European -5 African -6 Asian
Variables	VOKM TONKM LOCOMOTIVE PERSONNEL ENERGY CAR TRUCK ROUTES	**INPUTS** PERSONNEL NETWORK LENGTH FIXED CAPITAL CAR TRUCK **OUTPUTS** VOKM TONKM TRAVELLER REVENUE	**INPUTS** Labour cost Energy cost Materials cost Fixed capital cost **OUTPUTS** Total cost	**INPUTS** PERSONNEL LENGTH OF LINES CAR TRUCK **OUTPUTS** VOKM TONKM
Results	Total productivity factors increase +30%	Good level of production efficiency Technical progress is the main component of production efficiency	- The CCR model shows that at the beginning of the period 17 companies were efficient but increased to 18 at the end of the period - The BCC model shows that at the beginning of the period, 20 commpanies were efficient but increased to 24 at the end of the period	Western European coutries are the most efficicent

2.3.2 Some empirical results obtained using parametric methods

As mentioned above, in the parametric approach, we assume that the frontier is representable by an analytic function depending on a finite number of parameters. The problem is therefore to specify this function and estimate the parameters, either by statistical methods or by the methods derived from linear programming. Thus we distinguish between the deterministic parametric frontiers and the stochastic parametric frontiers.

2.3.2.1 Deterministic Frontiers

The authors who use this approach to evaluate the technical efficiency and productivity of railway companies are Caves et al. (1980); Filippini and Maggi (1993); Atkinson and Cornwell (1998); Loizides and Tsionas (2002); Bitzan and Keeler (2003). A summary of their research is presented on table 2-2.

To assess the performance of railway companies, Caves et al. (1980) estimate a generalized cost function since it permits accounting for the fact that the railway companies are multi-product companies. As a functional form, the authors have used a translog function since it is flexible, easy to calculate and allows the imposition of homogeneity conditions. It should be noted that this method is based on measuring cost elasticity in relation to the various products.

These authors believe that for a firm that uses one or more inputs to produce an output, the change in total productivity factor is determined by the rate at which output could grow over time for constant inputs. For an enterprise using multiple inputs to produce multiple outputs, the change in total productivity factor is given by the common velocity with which all outputs can grow, while inputs remain constant.

The second definition seems to be more appropriate for assessing railway productivity since the main railways feature is that they use several inputs to produce mainly two outputs: the respective measures for passenger transport activity and freight transport activity.

Finally, this methodology was applied to three US railways samples observed in 1955, 1963 and 1974 respectively. The research results of these authors show that between 1955 and 1974, the companies recorded an average total productivity factor growth of 1.5%.

Filippini and Maggi (1993) use three performance indicators, namely economics of density, economies of scale, and cost effectiveness to evaluate railway performance. To do this, the authors estimate a cost function in which technology is represented by a translog function.

- Economics of density measures the increase in costs induced by an increase in the level of the product, the other factors being invariable. It is determined by reversing the cost function derivative with respect to the product [Caves, Christensen and Tretheway (1984).]
- Economies of scale measures the increase in the total cost induced by a simultaneous increase of the output level, the size of the network and an indicator of the network structure, all other factors assumed to be invariable. According to Frisch (1964), a company operates on an optimal scale if the scale elasticity is equal to one. If, for a given company, the economics of density is equal to the unit then it operates at an optimum density.
- Cost efficiency is given by the ratio between the actual cost observed and the cost estimated by the translog function.

To illustrate this methodology, the article uses a panel of 48 Swiss private companies observed between 1985 and 1988. This study shows that Swiss private companies operate with low economies of scale and low density because the average scale is greater than the unit as well as the average economics of density. On the other hand, from the point of view of economic efficiency, all companies are almost identical.

To estimate and decompose the change in total productivity factor, Atkinson and Cornwell's article (1998) estimates a multiple-output cost function. For each company studied, the authors take into account the time dimension and the individual dimension, which enable them estimate a fixed-effect translog function. The advantage of this model is that no hypothesis is made on the one hand about the distribution of terms of inefficiency and on the other hand on the absence of correlation between the error term and the explanatory variables.

In this approach, the authors use the Malmquist's productivity index to estimate the main components of the change in total productivity, namely, the change in technical progress and the change in the economic efficiency level.

The authors applied this methodology to a panel of 12 American railway companies observed between 1951 and 1975. The study's results show that between 1951 and 1975,

companies recorded an average total productivity factor growth of 0.3%. The results also show that at the beginning of the period, the change in economic efficiency has a positive impact on the change in total productivity factor. But at the end of the period, this change becomes negative, which means that it has a negative effect on the change in total productivity factor. In general, the most efficient companies in terms of total productivity factor are those with a high level of efficiency.

Bitzan and Keeler (2003) also use a translog technology cost function to analyze the change in total productivity factor and the production structure of commodity transportation activity in the United States. To do this, the authors used a panel of 17 American railway companies observed between 1983 and 1997. Three results were obtained from this analysis.

- Beyond the effects of innovation, total productivity factor has increased at a constant rate.
- The abolition of the train crew (on board) results in a 5% -8% cost reduction.
- The technological development known since 1993 has led to a significant reduction in production costs.

To assess the total productivity factor of railway companies, the article written by Loizides and Tsionas (2002) also uses a methodology that is based on the estimation of a cost function. Unlike previous authors who used the translog function as functional form, Loizides Tsionas (2002) instead use a Cobb-Douglas function in which the technical progress index is introduced as an explanatory variable.

Traditional models of estimating total productivity factor based on the estimation of a cost function assume that the estimated coefficients are constant. In practice, this assumption is not always verified. To remedy this deficit, the article written by Loizides and Tsionas (2002) proposes a model in which parameters vary from one company to another. In econometrics, this type of model is called the Variable Coefficient Model.

From its definition, this model can not be estimated since in practice, technical progress is not observed. To remedy this limitation, the authors have replaced the technical progress variable with a set of dichotomous variables. Thus the new function to be estimated is identical to that proposed by Baltagi and Griffin (1988) and Baltagi et al. (1995). To illustrate this methodology, the article uses a panel of 10 European railway companies observed between 1969 and 1992. Three results were obtained from this analysis.

- Technical progress is a decreasing function of time. In other words, technical progress diminishes over time.
- The German and British railways are the only where technical progress has a positive impact on total productivity factor.
- An increase in investment in railway infrastructure must be made only if it responds to a significant increase in traffic.

2.3.2.2 Stochastic Frontiers

Unlike deterministic parametric frontier models, the stochastic approach assumes that for a given company the difference between the frontier and the real value is attributable not only to the factors under the control of the manager but also to random or exogenous shocks. Authors who use this approach to evaluate the efficiency of the railway companies include Coelli and Perelman (1999a); Coelli and Perelman (2000a); Lan and Lin (2006); Wetzel (2008). (See table 2.3 for the summary of their work).

In order to evaluate the performance of railway companies around the world, Lan and Lin's article (2006) uses the maximum likelihood technique to estimate a stochastic input-oriented production frontier. The authors selected two performance measurement indicators, namely technical effectivceness and consumption effectivceness. Technical effectivceness measures the ability of railways to transform production inputs into trains/km (passengers and freight), while consumption effectivceness measures the ability of railways to transform passenger-freight trains-km into passengers-km and tons-km.

To do this, the authors used a panel of 39 companies, made up of 14 companies from Western Europe, 15 companies from Eastern Europe and 10 non-European companies. Results from this study show that the best performing companies are those in Western Europe because they have a higher efficiency level (production efficiency and consumption efficiency) than the other companies in the sample. Non-European companies are the least efficient.

Table 2-2: A Few Empirical Results Obtained Using Deterministic Frontier Models

Authors	Caves et al (1980)	Filippini and Maggi (1993)	Loizides and Tsionas (2002)	Bitzan and Keeler (2003)	Atkinson and Cornwell (1998)
Model	Translog cost function	Translog cost function	Cobb-Douglas cost function	- Cost function - Translog Technology	- Translog cost function - Fixed effect model
Sample	US Panel: 1951-1974	Panel of 48 Swiss Private companies	European panel: 1969-1992	US Panel: 17 companies: 1983-1997	US Panel: 1951-1975
Variables	Personnel Rolling stock Material Energy Routes	**INPUTS** Labour cost Energy cost Length of network Fixed capital cost **OUTPUT** Total cost	TOTAL COST VOKM TONKM PERSONNEL ENERGY LINES	**INPUTS** LAMO COST ROLLING STOCK COST ENERGY COST CAPITAL COST MATERIALS COST **OUTPUTS** TRAINKMV	
Results	Total productivity factors increase +30%	- The economic efficiency does not vary between companies - The greater majority of companies have a low economies of scale and a low economics of density	- Technical progress is a reducing function of time - Only German and British railway companies have a positive impact from the technical progress on the TPF. - There is need for the increase in railway infrastructure investments if only this responds to the significant increase in demand	- Beyond innovation effects, total productivity factor increased at a constant - The reduction of the team crew (on board) results in a 5% -8% cost reduction. - The technological development registered since 1993 has led to a significant reduction in production costs	Total productivity factor growth at +0.3%

Coelli and Perelman (2000) question the traditional methods of estimating railway efficiency based either on the estimation of a production function or on the estimation of a generalized cost function. Since railway companies are generally multi-products, evaluating their technical efficiency by estimating a production function assumes that the outputs are aggregated into a single variable which can be a linear combination of outputs. This approach also assumes that output prices be observed and they reflect an income maximization behavior. Still in this context, evaluating efficiency by estimating a generalized cost function assumes that the companies aim to minimize the cost of production. While the assumptions of revenue maximization and cost minimization are standard, for the transport sector and especially for rail transport, these assumptions are rarely verified.

To remedy these limitations, the authors recommend methodologies based on the estimation of distance functions because they are more suitable to multi-product companies. In this model-building, the error term can be decomposed into two elements: the first measures the level of efficiency while the second measures the set of variables omitted in the model. This distance function on its part can be estimated using parametric techniques or nonparametric techniques.

The production frontier can be input or output oriented. As per inputs, the estimation of the distance function makes it possible to determine the proportions in which the company could reduce its inputs while maintaining the level of its outputs. Similarly, the estimation of the output-oriented distance function makes it possible to determine the proportions in which the company could increase its output for a given level of its inputs. Thus, technical efficiency is given by inversing the distance function.

To illustrate this methodology, the authors used a panel of 17 European railway companies observed between 1971 and 1983. In the first part, the authors estimated an input-oriented distance function and an output-oriented distance function. As for estimation techniques, the authors opted for the corrected least squares method and the maximum likelihood method which are parametric techniques. In the second part, the authors estimated a production function in which the total output is determined by a linear combination of all outputs.

Table 2-3 : A Few Empirical Results Obtained Using Stochastics Frontier Models

Authors	Lan and Lin (2006)	Coelli and Perelman (1999)	Coelli and Perelman (2000)	Wetzel (2008)
Model	- Stochastic frontier - Input-Oriented distance function	- Parametric frontier - Multi-output production function	- Parametric frontier - Corrected Least square	- Parametric production frontier - Technology: Translog
Sample	Panel: 39 companies of which, - 29 European - 10 non European	European Panel: 1979-1983	European Panel of 17 companies: 1979-1983	European Panel of 32 rail companies: 1990-2005
Variables	**INPUTS** PERSONNEL CAR WAGON **OUTPUTS** VOKM TONKM TRAVELLERS' REVENUE FREIGHT RETURNS	VOKM TONKM PERSONNEL ENERGY LINES	**INPUTS** PERSONNEL LENGTH OF LINES ENERGY USED **OUTPUTS** VOKM TONKM	**INPUTS** PERSONNEL ROLLING STOCK NETWORK DENSITY **OUTPUTS** VOKM TONKM
Results	Western European companies are the most effective	- The results of the input-oriented distance function corelate with those of output-oriented distance function - The results obtained through linear programming are similar to those of MCC		- Growth by 10.8% of ET - Growth by 39% of PTF - Growth by 29% of PT

As pointed out above, the objective of this study is not an analysis of railway efficiency level, but rather a questioning of the traditional methods of estimating the technical efficiency level. Thus, this study shows that the aggregation of outputs into a single vector introduces a bias in measuring technical efficiency level.

Coelli and Perelman (1999) undertake a comparison of the results obtained using parametric frontier methods and those obtained using nonparametric frontiers. To do this, they use three techniques: linear programming, corrected least squares and the data envelopment method to estimate three distance functions: a multi-output distance function with constant returns, a multi-output input-oriented distance function and a multi-output output-oriented distance function. The first two estimation techniques are parametric methods while the third is a nonparametric technique. To do this comparison, the authors used a panel of 17 European railway companies observed between 1988 and 1993. The conclusions of this study are as follows:

- Whatever the estimation method used, the results of the inputs-oriented distance function estimates are significantly correlated with those of the output-oriented distance function.
- Regardless of the distance function chosen, the results obtained by the linear programming are identical to those obtained with the aid of the corrected least squares. In other words, the use of parametric techniques leads to almost identical results.
- According to these authors, the best set of efficiency scores can be defined by a combination of the efficiency scores obtained using the three methods.
- Of these three estimation techniques, the authors recommend the corrected least squares because it is easy to implement and its use enables the testing of hypotheses.

Wetzel (2008) also uses a methodology based on the estimation of a translog distance function to evaluate the performance of railway companies. As per performance measurement indicator, the author opts for the technical efficiency, the change in total productivity and its determinants, which are change in technology, change in economies of scale and change in efficiency level.

To illustrate this methodology, the author used a European panel consisting of 32 railway companies observed between 1990 and 2005. Results thereof show that during the period considered, the companies recorded an average 10.8% growth in their efficiency level and an average 39% growth in total productivity factor. The productivity gains thus achieved are mainly due to a significant increase (+ 29%) in technical progress, an average growth (+

6%) in the efficiency level and lastly a modest growth (+ 3%) of economies of scale. In other words, technical progress can be considered as the main explanatory factor for productivity gains.

Conclusion of the second chapter

The objective of this chapter was to present the performance estimation methods and review literature on railway performance. First, we presented the theoretical foundations of the technical efficiency of firms and particularly Leibenstein's theory of X inefficiency (1966). According to the supporters of this theory, the production inefficiency of an enterprise can be explained mainly by the effort that is dependent on the degree of motivation in the company. In the second step, we reviewed the methods that are generally used to estimate the performance of organizations, with particular emphasis on parametric frontier models. Nevertheless, it was found that there are two families of models that enable the estimation of performances of organizations namely the parametric methods and the nonparametric methods.

Parametric frontiers assume that technology must be represented by a function. Frontier models can also be subdivided into two subgroups, namely, deterministic frontiers and stochastic frontiers. Deterministic frontiers assume that the distance between a company and the efficiency frontier is due solely to the level of inefficiency. On the other hand, the stochastic frontiers assume that this distance is explained on the one hand by the level of inefficiency and on the other hand by a random error term which represents the set of variables that have not been taken into account in the models. Parametric frontiers are mainly estimated using the corrected least squares technique or the maximum likelihood technique.

Nonparametric frontiers, on the other hand, do not assume any functional form. Linear programming techniques are generally used to estimate these frontiers. One distinguishes the models with constant returns of scale more known under the name of CCR model and the models with variable yields of scale called BCC models.

The literature review shows that with various and varied methods, several authors have tried to analyze and compare the railways production performances, both in Europe and in the world. The indicators used to evaluate railway performance are: production efficiency, consumption efficiency, technical efficiency, scale efficiency, allocative and cost efficiency,

economic efficiency and the change in total output factor. The analysis of this indicator has a double advantage. It does not only assess railways performance from the point of view of achieving productivity gains, but also identifies the main components of productivity gains that generally, are the following: growth in technical progress, economies of scale and lastly the growth of the technical efficiency level.

This literature review also shows that two approaches are generally used to assess the productive performance of railways. The first is based on the assumption of a maximization of the production level, which leads to the estimation of a neoclassical production function, while the second is based on a minimization assumption, which leads to the estimation of a cost function, each approach having its advantages and disadvantages. Finally, the results of railway performance assessment depend on several factors: the model to be estimated, the method of estimation and the quality of the data or the sample used.

Chapter-3 Measuring efficiency of certain European countries: a parametric estimation of distance function

Introduction

Railway transport plays a key role in the country economic development. In Europe, it is at the depths of both national and European policies; hence the adoption in early 90s of a series of reforms aiming at revamping the railway business with the market shares known to be weak despite that the greatest parts of national budgets are allocated to it.

Since the issuance of European directive of July 29, 1991 (1991-440) on the development of community railways, the performance appraisal of railways companies came into the focus of researchers and experts. For Marchand et al (1984), the concept of performance, both for a government enterprise and for a railway company, is defined as its ability to move closer to the goals assigned to it by the supervisory body, which is most often the State. Performance is aimed at achieving the goals of economic efficiency *stricto sensu* but they are also macroeconomic, financial and redistributive (Gathon and Perelman, 1989). Therefore the problem is to combine these multiple objectives which are rarely compatible (Rees, 1976). The question is therefore: in an environment as complex as that of rail, how can the performance of railway companies be assessed?

With various methods, several authors have attempted to answer this question. From a methodological point of view, studies that have tried to evaluate and compare the performance of railway companies can be classified into three categories.

- The first category includes all the authors whose approach is based on the calculation of partial productivity indicators. These authors include: C. Nash and J. Preston (1994) and earlier C. Nash (1981). In order to measure the performance of British Railways, Nash and Preston (1994) used a series of indicators of partial productivity measures to compare the performances of this company with those of railways companies of Western Europe. The indicators used for this purpose were to assess operational, commercial and financial performance. This study is based on a panel of fourteen railway companies from western European countries observed between 1971 and 1991. Authors showed that during this

period, the productivity of British Railway's workforce has improved, and was *in fine* higher than that of the other companies in the sample. The analysis of financial performance indicators shows that it had a higher operating cost coverage rate than the sample average. Finally, the analysis of commercial performance showed a rapid loss of market share compared to the other companies in the sample.

- The second approach to benchmarking is based on the estimate of a frontier, parametric or not. The indicators generally assessed include productive efficiency, technical efficiency, commercial efficiency and finally productivity gains. This second approach was the subject of a series of studies carried out by Caves et al. (1981a, 1981c) and Caves and Christensen (1980). Among the authors who used this approach to evaluate the performance of railway companies, we can cite the work of Cantos et al., (1999); Cantos and Maudos, (2001); Cantos Sanchez and Maudos Villarroya, (2000); Caves et al., (1981); Cowie and Riddington, (1996); Oum et al., (1999); Oum and Yu, (1994); Pedro et al., (2012); Perelman, (1986). These studies are essentially based on the parametric or non-parametric estimation of a production frontier or a cost frontier. In this approach, the level of performance is determined by the reverse of distance from the frontier. Thus, the best performing companies are those closest to the frontier.
- A third methodology, known as surplus accounts methodology, aimed at measuring the shifts in price frontiers and the distribution of global productivity surplus, was also deployed, particularly in France but not only: (Desmaris 2010a, 2010b), Harmey et al. Hemat (1985), Louis-André (1971)) and sometimes for the study of European railway companies (Gathon and Perelman 1989).

This literature review, which is not exhaustive, shows that with different techniques, several authors have been interested in the comparative analysis of railway performance. This chapter has a double objective: proposing a benchmarking of performance and revealing the trajectories of railway performance between 1997 and 2011. To this end, we use the maximum likelihood technique to respectively estimate a stochastic frontier of productive efficiency, a stochastic frontier of commercial efficiency, a stochastic frontier of technical efficiency. Performance indicators selected include productive efficiency, commercial efficiency, and technical efficiency. As a fourth indicator to measure performance, we also calculated the change in overall productivity of factors and identified its key determinants.

This chapter will be structured as follows: in a first section, we will present the analytical framework of railway performances. This section will then provide an answer to the

question of how to evaluate their performance. The second section will be dedicated to methodology and descriptive analysis of data. Finally, in a third section, we shall present our findings.

3.1 Analytical framework of railway performance

Like any mode of transport, railway transport, as a service activity, is characterized by the fact that unused production is considered as lost. In other words, in transport in general and as concerns rail transport in particular, production is a non-storable good since there is a difference between the number of passenger-km and the number of available seats-km (Yu and Lin, 2008). Thus, any study whose objective is to evaluate the performance of the railways should take this specificity into account. To overcome this difficulty, Fielding, et al. (1985) proposes, in an analysis of the evaluation of bus performance, three performance indicators: cost effectiveness, service efficiency and cost efficiency. According to these authors, cost effectiveness is given by the ratio of inputs and the level of production. The efficiency of service is determined by the ratio between the quantity produced and the quantity consumed, and at the end, cost efficiency is given by ratio between the input level and quantity consumed.

In the railway industry, production is generally done in two stages. In a first step, production inputs are transformed into intermediate outputs. More specifically, in this first stage, production inputs (personnel, track length, locomotives, the number of wagons and the number of carriages are used to produce trucks-km on the one hand and carriages on the other hand. These two indicators represent the level of available supply. In a second step, the available supply in trains-km is transformed in passengers-km and in tons-km.

To evaluate railways performance, it is important to measure for each step, an indicator of effectiveness, it is the proposal of Fielding et al. (1985). It is this reasoning that leads us to distinguish four indicators of effectiveness (three of them specific and one aggregate) to appraise railway performance (see figure 3-1).

- The first indicator is called ***productive efficiency***; it measures ability of the railway company to reduce its inputs while keeping the production level unchanged. This indicator reflects the ability to reduce costs through the reduction of production inputs.

- The second indicator is called ***commercial efficiency***. It measures ability of the company to attract the maximum of passengers given the level of production. It therefore shows the link between quantity produced and quantity consumed.
- The third indicator is called ***technical efficiency***. It measures ability to attract a maximum of users from a low level of input. This indicator links production inputs and quantities consumed.
- Finally, the fourth indicator is called ***productivity gains***, as it measures aggregate productivity variation in factors, that is the part of growth which is not explained by the increase in the amount of capital and the work load.

They are three determinants of productivity gains:

- the part of technical change, to measure out innovation contribution a the realisation of productivity gains;
- the change in economies of scales, which calculates the size of operations
- and finally productive efficiency change or technical efficiency change

3.2 Methodology.

The method of stochastic frontiers has been chosen to evaluate productive performance of the European railway companies. Laid out in the previous chapter, this section shall be dedicated to a descriptive analysis of our sample and the variables that have been used for our application as well as a brief recall of the functions likely to be estimated**.**

3.2.1 Sample description

For this analysis, we have at our disposal a panel of 17 European countries observed between 1997 and 2011. This sample was established based on two criteria, the availability and significance of data for each country. In order to render easier the presentation of results, we subdivided this sample into four sub-samples:

- Northern Europe: Denmark, Finland and Sweden.
- Eastern Europe : Bulgaria, Hungary, Poland, Czech Republic, Slovakia and Romania
- Southern Europe : Spain, Italy, Portugal and Slovenia

- Western Europe: Austria, Germany, Belgium and France.

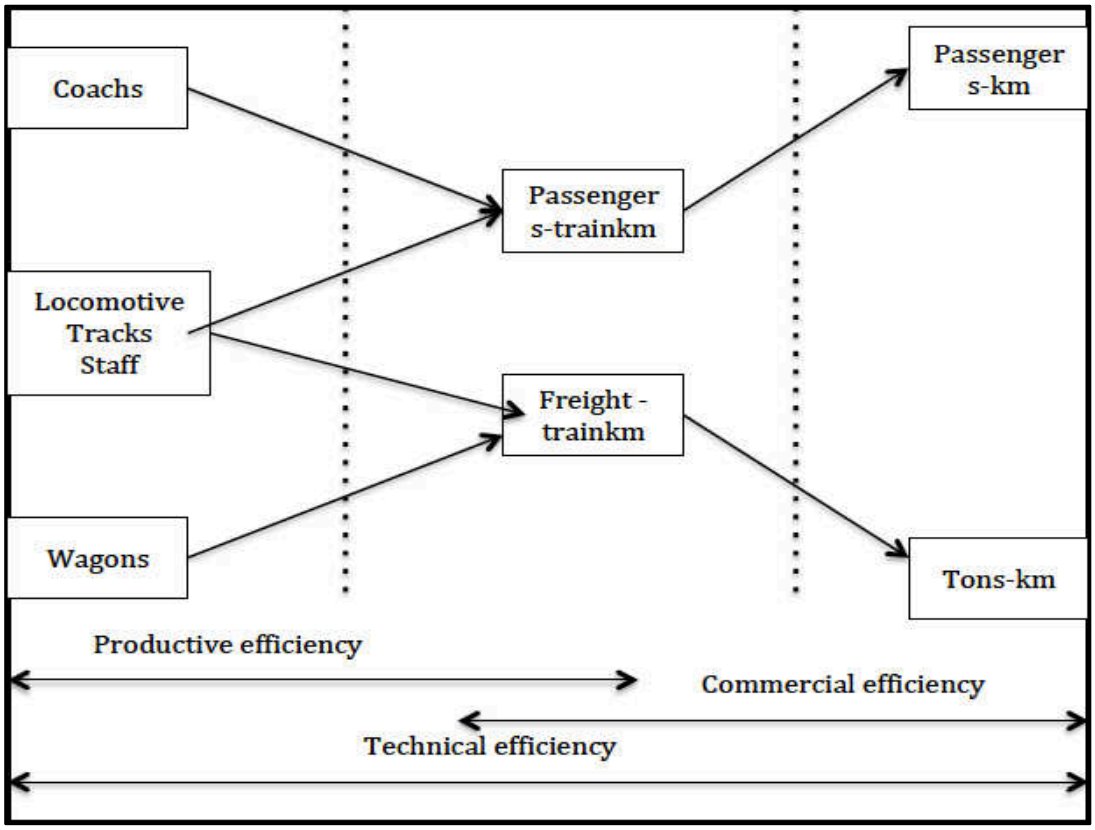


Figure 3-1 : Performance analysis scheme of railway companies
Source: author

All these countries are members of European Union and are therefore subject to the European directives on the liberalization of railway activities. As we will notice from descriptive analysis, these 17 countries constitute a heterogeneous sample in terms of practices, but also in terms of the liberalisation degree.

The 1990 - 2011 period is important in the history of European rail transport, since the European transport policy was launched in 1991 with the publication of Directive 91-440 on community development of railways. The Commission objective in the railway sector is to achieve the creation of a single European railway area. Several other directives, grouped together as "railway packages", were also adopted between 1990 and 2011. This is specifically the first railway package (2001) which aimed to open up the trans-European freight network to competition, the second package (2004), which provides for the opening-up of international freight competition and the third railway package (2007) purposed to open up international passenger transport to competition.

3.2.2 Description of data and definition of variables

Studies in transport economics and particularly in railway transport economics face several difficulties, including the multitude of data sources which, some are officials and others not. Added to this, is the reliability of the data. Indeed, for a same country, data vary from one source to another.

To remedy this difficulty, data used in this work come essentially from EUROSTAT database. They have been complemented by annual reports of various companies and the annual reports published by the UIC (International Union of Railways). These data relate to production inputs and production indicators of the rail transport activity. For this analysis, we have selected 9 variables, ie 5 inputs and 4 outputs.

For inputs:

- The number of wagons, the number of cars and the number of locomotives, making up the fleet of rolling stock for each country. It should be noted that rolling stock is an expensive asset for railways, which are intensively used to increase the performance of companies.
- The length of tracks.
- Labour through the overall workforce of railway employees.

The first four can be considered as fixed capital while the fifth represents the open-ended capital. Thus, we are faced with a neo-classical production function, as production essentially depends on capital and labour inputs.

Concerning outputs, four indicators for measuring the level of production were selected:

- The number of train-kilometres of passengers and freight representing the level of available supply. By construction, the variable train-km (passengers or freight) is equal to the number of trains multiplied by the total distance travelled
- The other two indicators are the number of passengers-km and the number of tons-km. These indicators are important because they determine the level of demand or quantities actually consumed. By construction, the variable tons-km (passenger-km respectively) is given by multiplying the number of tons (passengers respectively) transported with the distance travelled.

Descriptive statistics of variables used to analyse the performance of European railway companies are presented in Table 3-1. In this table, the annual average of variables is shown

for each country and its region. As regards infrastructure, it appears that the average length of tracks used is 32 931 km for countries of Western Europe against 16 533 km for countries of Eastern Europe, 11 861 for countries of Southern Europe and 8 858 km for countries of Northern Europe. With an average of 68,296 km of tracks, Germany is seen as the country the most equipped with rail infrastructure. France follows Germany with an average of 49,936 km[1] of railways, Poland (40,350 km), Italy (22,925) and Romania (21,408 km).

The analysis of rolling stock of the freight transport activity shows that the average number of wagons is estimated at 49 003 for Eastern Europe, 9 974 for Northern Europe countries, 59 262 for Western Europe countries and 20 699 for Southern Europe countries. At the national level, Germany is still standing out with an average of 119,504 wagons, followed by Poland (103,776 wagons), France (80,658 wagons), Romania and Italy with 79,677 and 52,562 wagons respectively. At the bottom of ranking, there are Slovenia, Portugal and Denmark with 5,180; 3,749 and 1,236 wagons respectively.

For the passenger transportation business, the Western region is distinguished by an average of 10,553 cars, followed by the Eastern region (4149 cars), the Southern region (4045) and finally the North with an average of 1503 cars. On a national scale, German rolling stock has an average of 19,631 cars against 16,049 for French park, 10,607 for Italian Park and 8924 cars for Polish park.

The average number of locomotives is estimated at 5,270 for Western Europe countries, 2,310 for Eastern Europe countries, 1,692 for Southern Europe countries and 578 For Northern Europe countries. At the individual level, Germany, France and Poland still stand out with 11,549, 6,651 and 4,779 locomotives, respectively. Italy comes in fourth position with an average of 4,392. The weakest countries are Sweden (633), Portugal (416), Denmark (411) and Slovenia (272).

When analysing the workforce, one can observe that the average size of the staff is estimated at 119,423 for Western Europe countries, 69,419 for Eastern Europe countries, 35,385 for Southern Europe countries and 12,700 for Northern Europe countries. On average, there are 237,247 employees in Germany, compared to 166,800 in France, 144,054 in Poland, 95,710 in Italy and 78,070 in Romania. In Denmark, Portugal and Slovenia the average staff is estimated at 10,895, 9,794 and 8,402 respectively.

The analysis of these variables shows that the size of the rolling stock varies from one region to another and from one country to another; it is the same thing for infrastructure and

for personnel. Data show that Germany, France, Poland and Italy are dominant countries in terms of size of the rolling stock fleet, infrastructure but also in terms of workforce. Man can say that they have very high fixed capital and variable capital compared to the rest of the sample.

From the production level perspective, data show that available supply is estimated at 207 million trains-kilometres of goods and 797 million passenger trains-km for Germany. France is in second position, with an average supply estimated at 116 million trains-km of goods and 387 million passenger trains-km. The third place is shared between Poland and Italy. The available supply is estimated at 83 million trains-km of passengers and 152 million train-kilometres of goods for Poland, while Italy offers on average 55 million trains-km of goods and 261 million trains-Km of passengers. Expressed in trains-km (passengers + freight), countries with low supply are Slovenia, Bulgaria, Portugal and Denmark with 19, 36, 38 and 65 million trains-km respectively.

As for demand, between 1997 and 2011, Germany marketed an average of 93 billion tons-km against 76 billion passengers-km; so, this country can be considered as being the leader of the sample. Regarding the passengers transportation activity, the second position is held by France (76 billion passengers-km), while Italy holds the third position with an average of 48 billion passengers-km. With 21 billion passengers-km, Spain ranks fourth ahead of Poland with an average of 20 billion passengers-km. As for the goods transportation business, the ranking is as follows: Poland (53 billion tons-km), France (45 billion), Italy (22 billion) and Sweden (21 billion).

This descriptive analysis allows us to observe that countries that make up our sample are very heterogeneous due to their very variable sizes. Moreover, countries such as France, Italy and Spain are specialized in passenger transportation, while countries such as Poland and Sweden are specialized in the transportation of goods. But, beyond their differences, what are their comparative performances?

Table 3-1: Descriptive statistics of variables during the 1997-2011 period

REGIONS	COUNTRIES	INPUTS					OUTPUTS			
		LOCOMOTIVE	STAFF	RAILWAY TRACKS	CARS	WAGONS	TRAIN-KM FREIGHT*	TRAIN-KM PASSENGER*	TONKM**	VOKM**
WEST	Austria	1499,60	34094,33	7280,27	3167,67	19902,07	48444,87	95182,07	18090,87	9398,35
	Germany	11549,27	237246,80	68295,61	19631,33	119504,10	207190,90	796706,70	92971,47	76915,53
	Belgium	1381,53	39552,93	6210,07	3365,07	16984,13	15239,87	77829,53	7721,53	8863,13
	France	6651,20	166799,80	49936,34	16048,73	80658,20	115564,60	387331,50	45291,30	75876,57
	AVERAGE	**5270,40**	**119423,47**	**32930,57**	**10553,20**	**59262,13**	**96610,06**	**339262,45**	**41018,79**	**42763,40**
EAST	Bulgaria	686,87	34193,20	6238,33	1485,73	16960,80	11482,15	25247,29	4953,33	2953,73
	Hungary	1355,07	48787,20	11373,93	3101,13	18258,60	17033,27	78032,89	8682,60	9191,41
	Czech Republic	2996,93	71635,27	16176,00	5047,40	50937,40	36686,33	110559,60	16057,00	6868,81
	Poland	4779,13	144054,30	40352,27	8923,67	103775,70	83642,53	152499,10	52501,67	19942,31
	Slovakia	1283,13	39771,60	3649,20	1561,13	24405,40	17491,40	33550,93	9850,93	2527,73
	Romania	2757,33	78070,20	21408,53	4775,33	79677,13	29309,32	70405,27	15716,60	9126,23
	AVERAGE	**2309,74**	**69418,63**	**16533,04**	**4149,07**	**49002,51**	**32607,50**	**78382,51**	**17960,36**	**8435,04**
NORTH	Denmark	411,20	10895,40	3219,67	1508,07	1236,27	4701,73	60859,80	1999,20	5919,33
	Finland	688,73	11100,20	8752,53	1049,53	11686,93	16944,47	31331,87	9951,20	3559,20
	Sweden	633,20	16105,67	14590,20	1952,20	16997,47	40927,93	85357,87	20866,27	9126,80
	AVERAGE	**577,71**	**12700,42**	**8854,13**	**1503,27**	**1503,27**	**20858,04**	**59183,18**	**10938,89**	**6201,78**
SOUTH	Italy	4391,67	95710,40	22925,13	10606,87	52562,47	55446,07	261905,60	21791,20	48367,00
	Portugal	416,33	9793,60	3176,38	1142,73	3749,20	7193,73	31016,92	2275,93	4078,93
	Slovenia	272,00	8401,53	2187,12	415,73	5180,20	7659,53	11472,13	3150,27	749,27
	Spain	1686,47	27632,67	19153,93	4017,53	21304,80	34614,47	139661,50	11109,00	21091,78
	AVERAGE	**1691,62**	**35384,55**	**11860,64**	**4045,72**	**20699,17**	**26228,45**	**111014,04**	**9581,60**	**18571,74**

* In thousands * In millions

3.2.3 Presentation of empirical models

In order to evaluate the efficiency of European railway companies, we used a methodology based on the estimation of a parametric frontier. In other words, in order to appraise the productive efficiency, commercial efficiency and technical efficiency of European railway companies, we estimated the distance function proposed by Shephard (1954, 1970). This function can be written as follows:

Equation 3-1 : Distance function

$$1 = D_i\left(y_{it}, x_{it}, T, \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda\right)(\xi_{it}) \quad \text{avec i=1, 2....., N} \quad \text{t=1, 2...., T}$$

In equation 3-1, $D_i(y_{it}, x_{it}\ T,)$ represents the distance function, y the outputs vector, x the inputs vector, T the time trend, $\alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta\ et\ \lambda$, the parameters to be estimated and ξ_{it}, the random term that we will discus later. In order to get the expression of distance frontier D_i must be equal to the unit, this justifies the writing of equation 3-1. It is necessary to remind that the distance function can be estimated using two approaches, an input approach or an output approach.

To estimate equation 3-1, the functional form of the distance function must meet certain conditions. This functional form must be flexible, easy to calculate and must enable to impose the conditions of homogeneity. The only function that fulfils these three conditions is the Translog function proposed by Christensen et al (1971). That is why we have chosen it.

As we distinguished three types of efficiency, namely, production efficiency, commercial efficiency and technical efficiency, we have been led to estimate three different frontiers. The model to be estimated will be presented depending on the efficiency to be measured.

3.2.3.1 Productive efficiency frontier

In order to measure productive efficiency of railway companies, we have chosen to estimate an input-oriented distance function since it allows us to determine the proportions in which the company can reduce its inputs while keeping the level of its outputs unchanged. According to Coelli and Perelman (2000), in the railway industry as in any other regulated industry, companies cannot control demand. On the other hand, they can control production inputs. This is one of the reasons why these authors advocate using an input-oriented

approach to appraise productive efficiency of railway companies. Finally, as shown Crozet (2013), the production of railway companies, estimated in trains-km is globally stable. This also justifies the option of an input-oriented approach.

Following Lovell et al. (1994), we divided all the inputs of the equation 3-1 by a single input, which allowed us to get the following relation:

Equation 3-2: Input oriented distance function

$$\frac{1}{x_{nit}} = D_i\left(y_{it}, x_{it}/x_{nit}, T, \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda\right)(\xi_{it})$$

When applying the Neperian logarithm to equation 3-2, we get the following relation:

Equation 3-3: Linearized Input oriented distance function

$$-\ln(x_{nit}) = TL(y_{it}, x_{it}/x_{nit}, T;\ \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda) - \ln(D_i)$$

In equation 3-3, $\ln(D_i)$ is non-observable and can be interpreted as an error term. If we replace $\ln(D_i)$ with a composed error term ($-\ln(D_i) = v_{it} - u_{it}$), were v_{it} the statistical noise and u_{it} productive inefficiency term. Equation 3-3 can be rewrite as follow:

Equation 3-4: Linearized Input oriented distance function

$$-\ln(x_{nit}) = TL(y_{it}, x_{it}/x_{nit}, T;\ \alpha, \beta, \gamma, \phi, \delta, \lambda) + V_{it} - U_{it}$$

Therefore the to evaluate productive efficiency, we estimate the following stochastic translogarithmic input distance function

Equation 3-5: Translogarithmic input distance function

$$-\ln x_{nit} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{4}\alpha_{it}\ln x_i^* + \sum_{j=1}^{2}\beta_j \ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\gamma_j \ln y_{jt}\ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{i=1}^{4}\lambda_{ij}\ln x^*_{it}\ln x^*_{it}$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2}\delta_{ij}\ln x_{it}\ln y_{jt} + \varphi_1 t + \varphi_{11}t^2 + \sum_{i=1}^{4}\mu_i t\ln x_{it}^* + \sum_{j=1}^{2}\eta_j t\ln y_{jt} + v_{it} - u_{it}$$

The parameters of this frontier are as follows:

- The variables x_{it} represent the inputs of the company i observed at the period t. These variables refer mainly to the workforce (x_{nt}), the number of locomotives (x_1), the number of wagons (x_2), the number of cars (x_3) and the length of tracks (x_4). As required by the frontier methodology, we have chosen to normalize inputs by labor (x_{nt}).
- Variables x_i marked with an asterisk are given by the following relation $x_{it}^* = x_{it}/x_{nit}$
- Y_{it} represent the output of the company i observed at period t. For this frontier, we have chosen as output, number of passenger train-km (y_1) and the number of freight trains-

km(y_2).

- v_{it} and u_i and represent statistical noise and productive inefficiency. Following Ritter and Simar (1997), we assumed that v_{it} follows a normal distribution with zero mean and constant standard deviation: $v_i \sim N(0; \sigma_v)$. We also assume that u_i follows a positive normal distribution with zero mean constant standard deviation: $u_i \sim |N(0; \sigma_u)|$
- $\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \delta, \varphi, \mu \, et \, \eta$ are the parameters to be estimated
- Equation 3-5 was estimated using maximum likelihood technique proposed by Aigner, Lovell, and Schmidt (1977).
- Productive efficiency (PE) is the inverse of the input distance function measure and varies between 0 and 1. It given by the following formula:

$$PE = E\{\exp(-u_{it}) / (v_{it} - u_{it})\}$$

Parameters obtained through the distance function estimation allow us to calculate the input oriented Malmquist productivity index to measure and decompose productivity change in the following way:

- Technical change (TC) it given by the arithmetic mean of the between time t and t+1 of the derivative of the distance function. In others word, technical change is the mean of two technical change obtained in two consecutive periods.

  The mathematical formula is as follows:

Formula 3-1: Technical change

$$TC = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial \ln D_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln D_{it+1}}{\partial t}\right]$$

with:

$$\frac{\partial \ln D_t}{\partial t} = \varphi_1 + 2\varphi_{11} t + \sum_{i=1}^{5} \mu_i \ln x_{it}^{*} + \sum_{j=1}^{2} \eta_j \ln y_{jt}$$

- Pure productive efficiency change (PEC) is given by the following relation:

Formula 3-2: Productive efficiency change

$$PEC = \ln\left(\frac{PE_{t+1}}{PE_t}\right)$$

- Scale efficiency change (SEC): to calculate scale efficiency change,

production elasticity (ε_{mit}) and scale factor (SF) are needed. There are obtained as follows:

$$\varepsilon_{mit} = \frac{\partial \ln D}{\partial y_{mit+1}} = \beta_m + \sum_{j=1}^{2} \gamma_j \ln y_{jt} + \sum_{i=1}^{5} \delta_i \ln y_{jt} + t\eta_m$$

$$SF = \frac{\varepsilon_{it} + 1}{\varepsilon_{it}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_{it} = \sum_{m=1}^{2} \varepsilon_{mit}$$

Formula 3-3: Scale efficiency change

$$SEC = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{2} \left[\left(SF_{it} \varepsilon_{mit} + SF_{it} \varepsilon_{mit+1} \right) \left(\ln y_{it+1} - \ln y_{it} \right) \right]$$

Finally, total factor productive change (TFP) is given as follows:

Formula 3-4 total factor productive change

$$\ln \frac{TFP_{t+1}}{TFP_t} = \ln \frac{PE_{t+1}}{PE_t} + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial \ln D_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln D_{it+1}}{\partial t} \right] + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{2} \left[\left(SF_{it} \varepsilon_{mit} + SF_{it} \varepsilon_{mit+1} \right) \left(\ln y_{it+1} - \ln y_{it} \right) \right]$$

3.2.3.2 The commercial efficiency frontier

In order to evaluate the commercial efficiency, we have estimated an output distance function. We chose this orientation for two reasons:

- First, it relates intermediate outputs (the number of trains, passengers and freight) and the final outputs, which are the number of passengers-km and tons-km.
- As seen in the analysis of productive efficiency, the number of trains-km being relatively constant, it is therefore important to answer the question of how to increase the number of passengers-km and tons-km for a given level of trains-km.

As for the productive efficiency frontier, we chose to represent the technology by a translogarithimic function, what gives us the following model:

Equation 3-6 Commercial efficiency frontier with translog technology

$$-\ln x_1 = \alpha_0 + \alpha_1 \ln x^*_2 + \frac{1}{2} \alpha_2 \ln x^{*2}_2 + \sum_{j=1}^{2} \beta_j \ln y_{jt} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} \gamma_j \ln y_{jt} \ln y_{jt} + \sum_{j=1}^{2} \delta_j \ln x_2 \ln y_{jt} + \varphi_1 t + \varphi_{11} t^2 + \mu_1 t \ln x^*_1 + \sum_{j=1}^{2} \eta_j t \ln y_{jt} + v_{it} - u_{it}$$

The parameters of this function are as follows:

- x_1 and x_2 represent respectively the number of passenger trains-km and freight trains-km
- x_1 and x_2 represent the number of tons-km and passengers-km respectively.
- u_{it}' and' v'_{it} represent respectively the term of commercial inefficiency and the random term.

Like Ritter and Simar (1997), we assumed that v_i follows a normal distribution with zero mean and constant standard deviation: $v_i \sim N\ (0;\ \sigma_v)$. We also assume that u_i follows a positive normal distribution with zero mean constant standard deviation: $u_i \sim |N\ (0;\ \sigma_u)|$.

The commercial efficiency is the invers of the output oriented distance function and therefore given by the following formula.

$$CE = E\{\exp(-u_{it})/(v_{it} - u_{it})\}$$

3.2.3.3 The frontier of technical efficiency

The model used to evaluate the technical efficiency of railway companies is the same with that used to evaluate production efficiency. As a reminder, the equation to be estimated is the following: (see section 3.2.3.1 for detail)

Equation 3-7: Input-oriented technical efficiency frontier

$$-\ln x_{nit} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{4}\alpha_{it}\ln x_i^* + \sum_{j=1}^{2}\beta_j \ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\gamma_j \ln y_{jt}\ln y_{jt} + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{i=1}^{4}\lambda_{ij}\ln x^*_{it}\ln x^*_{it}$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2}\delta_{ij}\ln x_{it}\ln y_{jt} + \varphi_1 t + \varphi_{11}t^2 + \sum_{i=1}^{4}\mu_i t \ln x_{it}^* + \sum_{j=1}^{2}\eta_j t \ln y_{jt} + v_{it} - u_{it}$$

The variables used in this model are:

- As input we have: labour (x_{nt}) the number of locomotives (x_1) the number of wagons (x_2), the number of cars (x_3) and the length of tracks (x_4). As required by the frontier methodology, we have chosen to standardize inputs by labour (x_{nt}).
- The outputs used at this level are tons-km and passengers-km.
- Equation 3-7 was estimated using the likelihood maximum and we assume that $u_i \sim |N\ (0;\ \sigma_u)|\ et\ v_i \sim N\ (0;\ \sigma_v)$.
- The technical efficiency (TE) it the inverse of the input distance function and has been calculated thanks to the following formula:

$$TE = E\{\exp(-u_{it})/(v_{it} - u_{it})\}$$

Note: Parameters obtained through the distance function estimation allow us to

calculate the input oriented Malmquist productivity index to measure and decompose productivity change in the following. For technical change, technical change (TC), see formula 3-1, and formula 3-2 for pure technical efficiency change (TEC) and finally see formula 3-4 for total factor productivity change (TFP).

3.3 Analysis and interpretation of results

It should be recalled that this empirical analysis is focused on a panel of 17 European Union countries observed between 1997 and 2011, that is exactly 255 observations. This panel is composed of 3 Northern Europe countries (Denmark, Finland and Sweden), 7 from Eastern Europe (Bulgaria, Hungary, Poland, Czech Republic, Slovakia and Romania), 4 from Southern Europe (Spain, Italy, Portugal and Slovenia) and 4 from Western Europe: Austria, Germany, Belgium and France. These countries were selected based on a criterion of data availability.

We have estimated three frontiers including a frontier of productive efficiency (see table 3-3 for results), the frontier of commercial efficiency (see table 3-2 for the results) and finally the frontier of technical efficiency (see table 3-4 for results).

3.3.1 Diagnostic and validation of models

Before presenting our results, it is necessary to analyse the validation criteria of various models that have been estimated. The objective is therefore to know if the stochastic frontier approach is a relevant approach. In other words, the idea is see whether for each company, the deviation from the frontier can be explained by a term of inefficiency and a random shock.

For the productive efficiency frontier, the likelihood-ratio test (σ_u=0) shows that, to a 5% threshold, one can reject the null hypothesis that σ_u=0 because the probability associated with this test is equal to 0.05%. In other words, results of the likelihood-ratio test allow rejecting the hypothesis of lack of productive inefficiency. These results also show that the frontier model is preferable to the Ordinary Least Squares (OLS) model**.** The ratio value σ_u/σ_v being equal to 1.98 and higher than one, inefficiency is therefore an important factor. Both results show that, efficiency has an important role to play in explaining productivity gains.

For the commercial efficiency frontier, results are the same. The probability value associated with the likelihood ratio test is equal to 0.0%, which shows that the stochastic frontier

model is preferable to the model estimable by the OLS, as this value allows us to reject the hypothesis of lack of commercial inefficiency. In the same vein, the ratio value σ_u/σ_v is equal to 2.63, which also shows that commercial inefficiency is a major factor.

Finally, for the technical efficiency frontier, the probability associated with the likelihood ratio test is equal to 0.0% and the ratio σ_u/σ_v is estimated to 5.88. These results show, on the one hand, that the hypothesis of lack of technical inefficiency can be rejected and that technical inefficiency plays an important role in determining productivity gains, on the other hand.

Whatever the frontier, majority of estimated parameters are statistically different from zero and they have the expected signs. In particular, all the first order parameters are statistically significant at the threshold of 5% and have the expected signs, which implies that the distance function estimated complies with all the expected theoretical properties.at the sample mean, the conditions of regularity are satisfied; i.e. input are non-decreasing and quasi-concave, and output are decreasing.

The variable have been divided by using the geometric mean, therefore the first order coefficients can be interpreted as elasticity. The parameters estimated of the first order condition of the productive efficiency frontier show that a 1% increase in the company's staff (of the number of cars respectively) leads to a 10% increase (of 75% respectively) in the gap of that company from the frontier. In a same vein, a 1% increase in the number of locomotives (1% of track length receptively) leads to a 25% increase (or 42% receptively) in the company's distance from the frontier. The results also show that a 1% increase in the number of passenger trains-km (1% of freight train-kilometres respectively) leads to a 79% reduction (21% respectively) of the deviation from the frontier.

For the commercial frontier, results show that a 1% increase in the number of passenger trains-km (1% of freight train-kilometres respectively) increases of 16% (of 84% respectively) the deviation from the frontier. From the output perspective, a 1% increase in the number of passengers-km (1% of the number of tons-km) leads to a 22% reduction (of 70% respectively) of the deviation from commercial efficiency frontier.

Finally, for the technical efficiency frontier, the results show that a 1% increase in the company's staff (of the number of cars receptively) leads to a 12% increase (of 60%respectively) in the company's deviation from the frontier. Finally, a 1% increase in track length leads in a

46% increase in the company's deviation from the frontier. All these results show that the frontier approach is relevant since results match with the frontier properties.

Table 3-2: Estimated parameters of the commercial efficiency frontier

FONCTION DISTANCE ORIENTEE OUTPUTS						
	Coef.	Std.Err.	z	P>|z|	[95% Conf,	Interval]
TONKM	-0.705***	-0.0311	-22.64	0.000	-0.766	-0.644
VOKM	-0.221***	-0.0301	-7.331	0.000	-0.280	-0.162
TRAINKMF	0.838	0.045	18.49	0.000	0.749	0.926
TRAINKMV	0.162***	-0.045	3.584	0.000	0.074	0.251
TONKM^2	-1.263***	-0.122	-10.34	0.000	-1.503	-1.024
VOKM^2	-0.990***	-0.099	-9.965	0.000	-1.185	-0.795
TRAINKMV^2	-0.188***	-0.019	-9.852	0.000	-0.225	-0.150
TRAINKMF^2	-0.188	0.019	-9.85	0.000	-0.225	-0.150
TRAINKMF*TRAINKMV	0.188	0.019	9.85	0.000	0.150	0.225
TONKM*VOKM	1.078***	-0.109	9.881	0.000	0.864	1.291
TONKM*TRAINKMF	1.576	0.147	10.71	0.000	1.288	1.865
TONKM*TRAINKMV	-1.576***	-0.147	-10.71	0.000	-1.865	-1.288
VOKM*TRAINKMF	-1.353	0.135	-10.03	0.000	-1.617	-1.088
VOKM*TRAINKMV	1.353***	-0.135	10.03	0.000	1.088	1.617
TONKM*TEMPS	0.0460***	-0.007	6.483	0.000	0.032	0.060
VOKM*TEMPS	-0.0425***	-0.007	-6.125	0.000	-0.056	-0.029
TRAINKMF*TEMPS	-0.084	0.010	-8.13	0.000	-0.105	-0.064
TRAINKMV*TEMPS	0.0842***	-0.010	8.128	0.000	0.064	0.105
TEMPS	0.0124***	-0.003	4.139	0.000	0.007	0.018
TEMPS^2	0.000	-0.001	0.0232	0.981	-0.001	0.001
Constant	0.209***	-0.022	9.462	0.000	0.166	0.252
lnsig2v	-5.301***	-0.333	-15.930	0.000	-5.953	-4.648
lnsig2u	-3.368***	-0.198	-16.980	0.000	-3.756	-2.979
sigma_v	0.071	0.012			0.051	0.098
sigma_u	0.186	0.018			0.153	0.225
sigma2	0.039	0.006			0.028	0.051
lambda	2.629	0.028			2.573	2.684
Standard errors in parentheses						
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1						
Likelihood-ratio test of sigma_u=0: chibar2(01) = 11.34 Prob>=chibar2 = 0.000						

Table 3-3: Estimated parameters of the productive efficiency frontier

INPUT ORIENTED DISTANCE FUNCTION						
	Coef,	Std,Err,	z	P>|z|	[95% Conf,	Interval]
TRAINKMF	-0.209***	-0.040	-5.287	0.000	-0.287	-0.132
TRAINKMV	-0.792***	-0.038	-20.690	0.000	-0.867	-0.717
PERSONNEL	-0.104***	-0.044	-2.350	0.019	-0.191	-0.017
WAGON	-0.315***	-0.037	-8.461	0.000	-0.387	-0.242
VOITURE	0.751***	-0.054	13.940	0.000	0.645	0.857
LOCOMOTIVE	0.249***	-0.051	4.861	0.000	0.148	0.349
VOIES	0.419***	-0.033	12.720	0.000	0.355	0.484
TRAINKMFS^2	0.507***	-0.163	3.109	0.002	0.187	0.827
TRAINKMV^2	0.756***	-0.175	4.322	0.000	0.413	1.099
TRAINKM×FTRAINKMV	-0.585***	-0.163	-3.577	0.000	-0.905	-0.264
PERSONNEL^2	-1.47E-02	-0.161	-0.090	0.927	-0.330	0.301
WAGON^2	-0.0239***	-0.009	-2.665	0.008	-0.042	-0.006
VOITURE^2	2.080***	-0.391	5.314	0.000	1.313	2.847
LOCOMOTIVE^2	-0.408***	-0.128	-3.186	0.001	-0.659	-0.157
VOIES^2	0.934***	-0.155	6.033	0.000	0.631	1.237
TRAINKMF×PERSONNEL	-5.34E-01	0.104	-5.150	0.000	-0.737	-0.330
TRAINKMF×WAGON	0.252**	-0.107	2.346	0.019	0.041	0.462
TRAINKMF×VOITURE	1.117***	-0.165	6.761	0.000	0.793	1.441
TRAINKMF×LOCOMOTIVE	-0.293*	-0.156	-1.884	0.060	-0.598	0.012
TRAINKMF×VOIES	-0.542***	-0.085	-6.372	0.000	-0.709	-0.375
TRAINKMV×PERSONNEL	2.73E-01	-0.102	2.680	0.007	0.073	0.474
TRAINKMV×WAGON	-1.76E-01	-0.113	-1.562	0.118	-0.397	0.045
TRAINKMV×VOITURE	-1.130***	-0.171	-6.609	0.000	-1.465	-0.795
TRAINKMV×LOCOMOTIVE	0.503***	-0.156	3.214	0.001	0.196	0.809
TRAINKMV×VOIES	0.530***	-0.091	5.840	0.000	0.352	0.708
PERSONNEL×WAGON	-0.4650***	-0.108	-4.310	0.000	-0.677	-0.254
PERSONNEL×VOITURE	-0.8512***	-0.205	-4.150	0.000	-1.253	-0.449
PERSONNEL×LOCOMOTIVE	1.5428***	-0.187	8.270	0.000	1.177	1.909
PERSONNEL×VOIES	-0.2119***	-0.100	-2.130	0.033	-0.407	-0.017
WAGON×VOITURE	0.410***	-0.141	2.900	0.004	0.133	0.687
WAGON×LOCOMOTIVE	-9.18E-02	-0.149	-0.616	0.538	-0.384	0.200
WAGON×VOIES	0.171*	-0.097	1.767	0.077	-0.019	0.361
VOITURE×LOCOMOTIVE	-0.894***	-0.178	-5.034	0.000	-1.242	-0.546
VOITURE×VOIES	-0.744***	-0.199	-3.737	0.000	-1.134	-0.354
LOCOMOTIVE×VOIES	-1.49E-01	-0.126	-1.185	0.236	-0.395	0.097
TRAINKMF×TEMPS	0.0212**	-0.010	2.067	0.039	0.001	0.041
TRAINKMV×TEMPS	-0.0342***	-0.010	-3.342	0.001	-0.054	-0.014
PERSONNEL×TEMPS	-0.0621***	-0.009	-6.610	0.000	-0.081	-0.044
WAGON×TEMPS	0.0165**	-0.008	1.974	0.048	0.000	0.033
VOITURE×TEMPS	0.0366**	-0.014	2.551	0.011	0.008	0.065
LOCOMOTIVE×TEMPS	0.0635***	-0.008	7.601	0.000	0.047	0.080
VOIES×TEMPS	-0.0542***	-0.010	-5.688	0.000	-0.073	-0.036
TEMPS	-0.0111***	-0.004	-2.817	0.005	-0.019	-0.003
TEMPS^2	1.68E-04	-0.001	0.119	0.905	-0.003	0.003
Constant	-2.99E-02	-0.027	-1.093	0.274	-0.084	0.024
lnσ_v^2	-5.140***	-0.333	-15.45	0.000	-5.792	-4.488
lnσ_u^2	-3.775***	-0.295	-12.81	0.000	-4.352	-3.197
σ_v	7.65E-02	0.0127			0.055	0.106
σ_u	1.51E-01	0.0223			0.113	0.202
sigma2	2.88E-02	0.0053			0.019	0.039
σ_u/σ_v	1.98E+00	0.0337			1.913	2.045

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Likelihood-ratio test of sigma_u=0: chibar2(01) = 6.53 Prob>=chibar2 = 0.005

Table 3-4: Estimated parameters of the technical efficiency frontier

INPUT ORIENTED DISTANCE FUNCTION						
	Coef.	Std.Err.	z	P>|z|	[95% Conf.	Interval]
TONKM	-0.380***	0.032	-11.800	0.000	-0.443	-0.317
VOKM	-0.512***	0.027	-18.810	0.000	-0.566	-0.459
PERSONNEL	0.122***	0.056	2.160	0.031	0.011	0.233
WAGON	-0.119***	0.039	-3.051	0.002	-0.195	-0.043
VOITURE	0.604***	0.069	8.713	0.000	0.468	0.740
LOCOMOTIVE	-0.069	0.059	-1.161	0.246	-0.185	0.047
VOIES	0.461***	0.038	12.200	0.000	0.387	0.535
TONKM^2	0.651***	0.144	4.535	0.000	0.370	0.933
VOKM2	0.501***	0.135	3.721	0.000	0.237	0.764
TONKM×VOKM	-0.523***	0.129	-4.063	0.000	-0.776	-0.271
PERSONNEL^2	0.509	0.20631	2.470	0.014	0.105	0.914
WAGON2	-0.001	0.008	-0.124	0.902	-0.017	0.015
VOITURE^2	2.459***	0.521	4.720	0.000	1.438	3.481
LOCOMOTIVE^2	-0.552***	0.13	-4.245	0.000	-0.807	-0.297
VOIES^2	1.166***	0.199	5.868	0.000	0.776	1.555
TONKM×PERSONNEL	-0.3633***	0.103	-3.520	0.000	-0.566	-0.161
TONKM×WAGON	-0.042	0.099	-0.416	0.678	-0.237	0.154
TONKM×VOITURE	0.975***	0.188	5.197	0.000	0.607	1.342
TONKM×LOCOMOTIVE	-0.246**	0.124	-1.982	0.048	-0.489	-0.003
TONKM×VOIES	-0.324***	0.096	-3.378	0.001	-0.512	-0.136
VOKM×PERSONNEL	0.3125***	0.103	3.050	0.002	0.112	0.513
VOKM×WAGON	0.0559	0.093	0.599	0.549	-0.127	0.239
VOKM×VOITURE	-0.805***	0.192	-4.188	0.000	-1.182	-0.428
VOKM×LOCOMOTIVE	0.286**	0.117	2.446	0.014	0.057	0.515
VOKM×VOIES	0.151**	0.066	2.288	0.022	0.022	0.281
PERSONNEL×WAGON	-0.254***	0.103	-2.530	0.011	-0.450	-0.057
PERSONNEL×VOITURE	-1.184***	0.263	-4.500	0.000	-1.700	-0.668
PERSONNEL×LOCOMOTIVE	1.2707***	0.211	6.020	0.000	0.857	1.685
PERSONNEL×VOIES	-0.342***	0.118	-2.910	0.004	-0.573	-0.111
WAGON×VOITURE	0.204	0.158	1.292	0.196	-0.105	0.513
WAGON×LOCOMOTIVE	-0.078	0.166	-0.472	0.637	-0.403	0.247
WAGON×VOIES	0.13	0.131	0.986	0.324	-0.128	0.387
VOITURE×LOCOMOTIVE	-0.583**	0.244	-2.394	0.017	-1.060	-0.106
VOITURE×VOIES	-0.896***	0.215	-4.163	0.000	-1.318	-0.474
LOCOMOTIVE×VOIES	-0.057	0.162	-0.353	0.724	-0.375	0.261
TONKM×TEMPS	0.006	0.008	0.747	0.455	-0.010	0.023
VOKM×TEMPS	-0.015**	0.007	-2.037	0.042	-0.029	-0.001
PERSONNEL×TEMPS	-0.058***	0.011	-5.230	0.000	-0.079	-0.036
WAGON×TEMPS	-0.004	0.009	-0.423	0.673	-0.021	0.013
VOITURE×TEMPS	0.049***	0.015	2.845	0.004	0.014	0.074
LOCOMOTIVE×TEMPS	0.069***	0.009	8.049	0.000	0.053	0.087
VOIES×TEMPS	-0.052***	0.009	-5.439	0.000	-0.071	-0.034
TEMPS	0.009**	0.004	2.161	0.031	0.001	0.018
TEMPS^2	-0.001*	0.001	-1.709	0.087	-0.002	0.000
Constante	-0.095**	0.039	-2.415	0.016	-0.173	-0.018
lnσ_v^2	-6.575***	0.922	-7.134	0.000	-8.382	-4.769
lnσ_u^2	-3.033***	0.181	-16.730	0.000	-3.389	-2.678
σ_v	0.0373	0.017			0.015	0.092
σ_u	0.219	0.019			0.184	0.262
sigma2	0.049	0.008			0.034	0.065
σ_u/σ_v	5.876	0.035			5.807	5.945

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Likelihood-ratio test of sigma_u=0: chibar2(01) = 22.48 Prob>=chibar2 = 0.000

3.3.2 Global analysis

Before looking at the temporal evolution of the three efficiency indicators that have been calculated, it is important to check whether there is a significant difference between them. In that purpose, we carried out the Wilcoxon-Mann-Whitney test better known as the Wilcoxon rank sum test. This is a non-parametric test to test the hypothesis that the distribution of data is the same in two groups. Applied to our analysis, this test makes it possible to see if the distributions of efficiencies are different. The hypotheses tested as well as the results of these tests are written out in table 3-5.

From this table, it can be noticed that there is a significant difference between the distribution of productive efficiency and that of commercial efficiency on the one hand and that there is a significant difference between the distribution of productive efficiency and that of technical efficiency, on the other hand. However, there is no significant difference between the distribution of commercial efficiency and that of technical efficiency. These results allow us to conclude that a comparative analysis of performance that uses several definitions of performance can yield quite to different results.

Table 3-5: Results of the Wilcoxon's rank sum test

Hypotheses		|z|	P value
H0: EP=EC	H1: EP≠EC	2.571	0.0101
H0: EP=ET	H1: EP≠ET	3.45	0.0006
H0: EC=ET	H1: EC≠ET	1.11	0.2669

Owing to Spearman correlation coefficient, we were able to measure the degree of statistical dependence between these different indicators. Results of these calculations are reported in table 3-6. It is worth reminding that in statistics, Spearman correlation makes it possible to give a measure of the non-parametric statistical dependence between two variables. This correlation is studied when two statistical variables seem to correlate without the relationship to be affine. It consists in finding a correlation not between the values taken by the two variables but between the ranks of these two values.

The correlation coefficient between productive efficiency and commercial efficiency is estimated at -33.5%. This coefficient is significant for a 5% threshold. This figure shows that there is a negative relationship between productive efficiency and commercial efficiency. In other words, railway companies with a high level of productive efficiency are likely to

have a low level of technical efficiency.

In the same vein, results show that there is a positive and significant relationship between productive efficiency and technical efficiency. This coefficient is estimated at 41.8% and is significant at a 5% threshold. This figure shows that companies with a high level of productive efficiency are likely to have a high level of technical efficiency.

Between commercial efficiency and technical efficiency, the correlation coefficient is estimated at 16.4%. It is therefore positive and significant at a 5% threshold. We can infer that railway companies with a high level of commercial efficiency are likely to have a high level of technical efficiency.

Table 3-6: Spearman correlation

	EP	EC	ET
EP	1		
EC	-0.3554*	1	
ET	0.4181*	0.1641*	1
*p<0.05			

3.3.2.1 Analysis of the average evolution of efficiencies

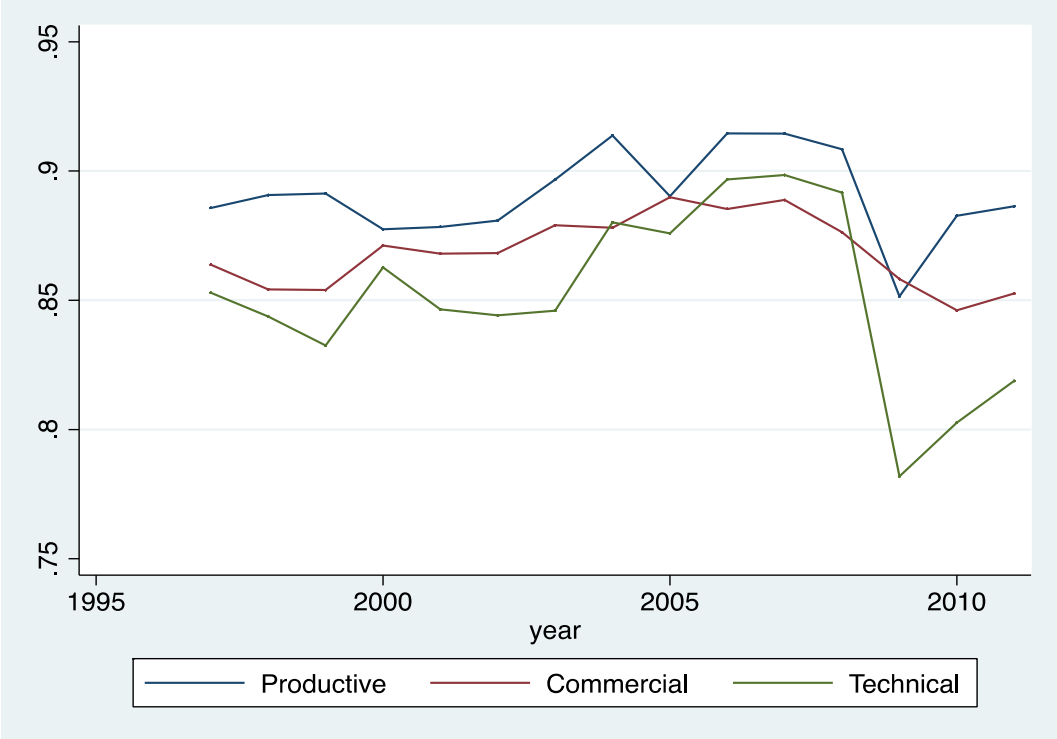


Figure 3-2: Trend of efficiencies
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

Figure 3-2 shows trend of of productive efficiency, commercial efficiency and technical efficiency between 1997 and 2011.

***Productive efficiency*.**

From the analysis of productive efficiency three sequences can be distinguished:

- The first sequence, from 1997 to 2000 is marked by a downward trend in this indicator. This result shows that, on average, railway companies have lost efficiency during this period.
- From 2000 to 2008, productive efficiency follows an increasing trend, which reflects an improvement in productive efficiency.
- Finally, the third sequence (2008-2011) is marked by a downward trend in productive efficiency. The downward trend that has been noticed can be partly explained by the impact on the requirements of the 2008 financial crisis.

Commercial efficiency

It should be reminded that commercial efficiency measures the capacity of railway companies to transform the number of passenger trains-km and the number of freight train-km into passengers-km and tons-km. After analysing this indicator, one can distinguish two periods. The first one, which runs from 1997 to 2008, is marked by an upward trend in this indicator. This growth has been rapidly halted by the crisis of 2008. Since from this date, the commercial efficiency is decreasing. Thus, the second period (2008-2011) is marked by a loss of efficiency since the commercial efficiency is decreasing.

Technical efficiency

As a reminder, technical efficiency measures the ability of railway companies to transform all inputs into passenger-km and tons-km. The evolution of this indicator is almost identical to that of productive efficiency. Between 1997 and 1999, on average, technical efficiency globally decreased, reflecting a loss of efficiency or a decline in performance. Between 1999 and 2008, technical efficiency was globally increasing. This growth is rapidly halted by the of 2008 crisis, because from this date, technical efficiency has been going down.

3.3.2.2 Analysis of total factor productivity and its components.

It is important to note that the coefficients obtained through the distance function estimate allow us to calculate total factor productivity and its component. In order to make this presentation easier, the total productivity factor productivity evaluated after estimating the production frontier will be noted TFP1 while that calculated after estimate of the technical efficiency frontier will be noted TFP3. In order to facilitate understanding, it is necessary to remind that a value greater than one of total productivity or that of one of its factors reflects an improvement in the latter while a value less than one unit reflects decrease. Lastly, a value equal to one unit would reflect stability of the indicator.

Analysis of total factor productivity 1 (TFP1)

The descriptive analysis shows that between 1997 and 2011, the average total factor productivity is estimated at 1.0006 with a minimum of 0.9124 and a maximum of 1.039. These figures show that, on average, between 1997 and 2011, European railway companies achieved a 0.06% annual productivity gain.

Figure 3-3 shows the average increase in this indicator between 1997 and 2011, while table 3-7 reports the average values of the variation in the total productivity of factors and that of its components.

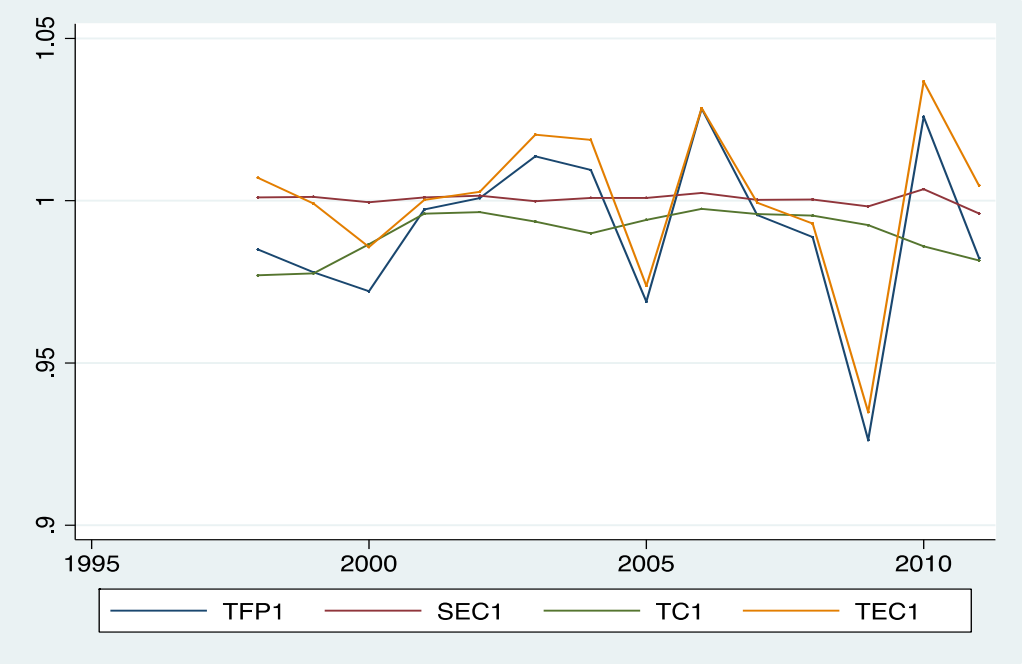


Figure 3-3: Total factor productivity 1 and its components between 1997 and 2011
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

Table 3-7: Total factor productivity 1 and its components between 1997 and 2011

Year	TFP1	SEC1	TC1	TEC1
1997				
1998	1.0223	1.0010	1.0151	1.0079
1999	1.0129	1.0012	1.0088	1.0007
2000	0.9996	0.9995	1.0148	0.9912
2001	1.0237	1.0010	1.0227	1.0007
2002	1.0261	1.0015	1.0185	1.0038
2003	1.0395	0.9999	1.0121	1.0254
2004	1.0257	1.0009	1.0043	1.0197
2005	0.9719	1.0009	0.9974	0.9749
2006	1.0251	1.0024	0.9922	1.0295
2007	0.9888	1.0003	0.9888	1.0000
2008	0.9792	1.0004	0.9850	0.9938
2009	0.9124	0.9983	0.9776	0.9374
2010	1.0112	1.0037	0.9692	1.0399
2011	0.9705	0.9961	0.9637	1.0077

From temporal analysis of this indicator, two sequences can be distinguished. The first sequence running from 1997 to 2009 is marked by a downward trend in the productivity of factors. This can equally reflect a loss of productivity. This loss of productivity becomes more important with the 2008 crisis. This result proves that the performance of transport in general and that of rail transport in particular are linked to internal and external factors.

As mentioned above, we have decomposed total productivity 1 into three factors: the variation in productive efficiency change (TEC1), technical change (TC1), and scale efficiency change (SEC1). Each component plays a specific role.

Productive efficiency change (TEC1) measures the productivity gains that are achieved owing to the improvement in the level of productive efficiency. The results show that between 1997 and 2011, the average productive efficiency change is estimated at 1.002, indicating that an improvement in the level of efficiency positively contributes to the achievement of productivity gains. This result is also obtained by calculating Spearman correlation coefficient. As shown in table 3-8, the correlation coefficient between the productive efficiency change and total factor productivity change is estimated at 34.5%. This coefficient is positive and statistically different at the 5% threshold, which shows that there is a positive and significant correlation between total factor productivity change and productive efficiency change. In other words, any improvement in the level of productive efficiency

could lead to productivity gains.

Table 3-8: Spearman Correlation 1

	TEC1	SEC1	TC1	TFP1
TEC1	1			
SEC1	-0.0706	1		
TC1	-0.0296	-0.0027	1	
TFP1	0.3451*	0.0027	0.8994*	1
*P<0.05				

Technical change (TC1) measures the contribution in training innovation on total productivity factors productivity change. The calculations show that between 1997 and 2011, the average value of this indicator is estimated to be 0.99, which means that on average, technological change has not contributed or hardly contributes to the achievement of productivity gains. Nevertheless, the value of the correlation coefficient (0.899 and significant at the 5% threshold) shows that there is a strong positive and significant correlation between change in technological and total productivity factors change. So, an improvement in technological change could increase productivity gains.

Scale efficiency change has been retained as a third component which could enable the achievement of productivity gains. It worth outlining that scale efficiency seeks to determine the extent to which the company operates with increasing or decreasing returns to scale, allowing it to define its optimum size. So, the scale efficiency renders it possible to know if the company operates with an optimal size. As regards our sample, data show that the average value scale efficiency change is estimated at 1.0005. Even if this average value is greater than the unit, there is nevertheless a small contribution of scale efficiency to the achievement of productivity gains. This result can also be seen while analysing the Spearman correlation coefficient, since the latter is not significant for a 5% threshold. In other words, Spearman coefficient shows that there is no significant correlation between total factor productivity change and scale efficiency change.

Analysis of Total Productivity 3 (TFP3)

Figure 3-4 shows the temporal evolution of this indicator while table 3-9 reports the average value. The descriptive analysis shows that between 1997 and 2011, the average value of total factor productivity change 3 is estimated at 1.014, which reflects an average productivity gain of 1.4%.

The temporal analysis of total factor productivity change allows us to distinguish three periods. The first one, which runs from 1997 to 2007, is marked by a downward trend in this indicator. Indeed, this indicator takes values between 1.0911 and 1.0064. Despite this downward trend, these figures show that, on average, railway companies have achieved productivity gains between 1997 and 2007, since change in total productivity takes values above one. The second period runs from 2007 to 2009. It is characterized by the existence of productivity losses, since within this period the average total factor productivity change takes values between 1.0064 and 0.8636, undoubtedly due to the 2008 Financial crisis. Finally, the third period, which is from 2009 to 2011, is marked by an upward trend in this indicator, which would reflect productivity gains, since within this time frame; the average value of the total factor productivity change is between 0.886 and 1.011.

Table 3-9: Total Productivity 3 and its components

Year	TFP3	SEC3	TC3	TEC3
1997				
1998	1,0178	0,9960	1,0334	0,9904
1999	1,0147	0,9997	1,0268	0,9878
2000	1,0911	1,0041	1,0331	1,0470
2001	1,0228	0,9976	1,0407	0,9858
2002	1,0282	0,9948	1,0359	1,0015
2003	1,0339	0,9968	1,0293	1,0069
2004	1,0645	1,0008	1,0201	1,0416
2005	1,0111	1,0021	1,0111	0,9970
2006	1,0349	1,0016	1,0049	1,0262
2007	1,0064	1,0022	1,0021	1,0020
2008	0,9916	1,0023	0,9978	0,9918
2009	0,8638	0,9974	0,9922	0,8741
2010	1,0054	0,9986	0,9848	1,0343
2011	1,0110	1,0007	0,9770	1,0259

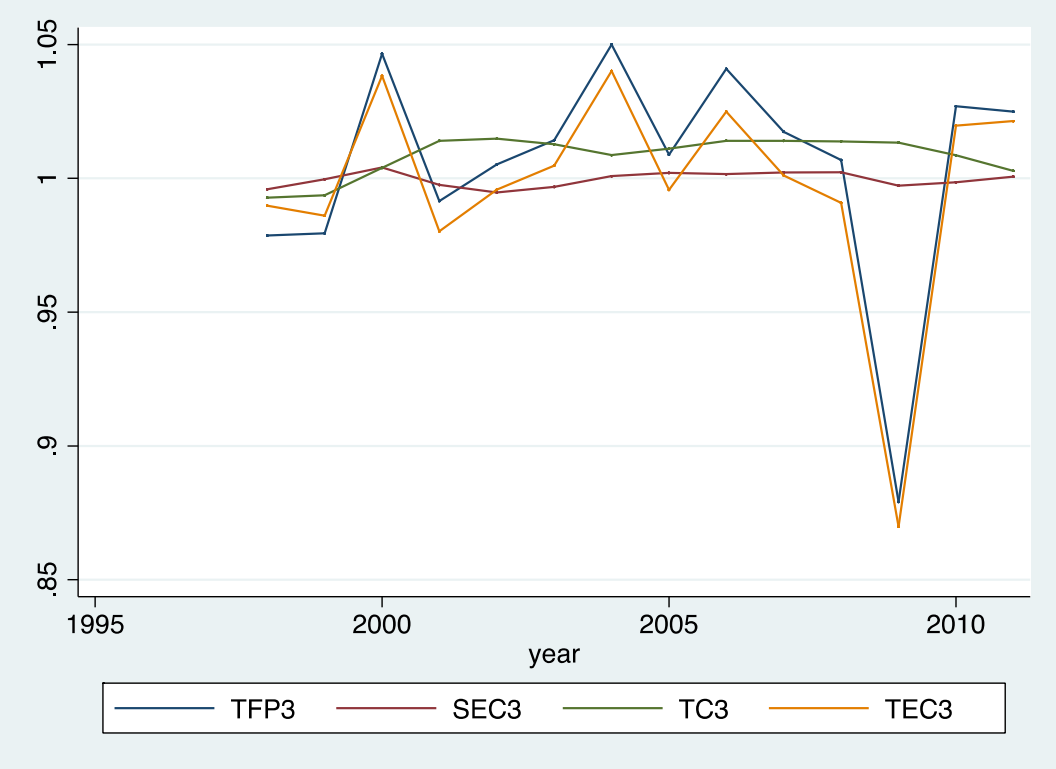


Figure 3-4: Total Productivity 3 and its components
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

Between 1997 and 2011, the average value of change in technical progress (TC3) is estimated at 1.0135. This figure shows that, on average, the technological progress plays an major role in achieving productivity gains. As shown by Spearman coefficient (see table 3-10), there is a strong positive and significant correlation between the variation in technological progress and the change in total factor productivity. Indeed, the correlation coefficient between total factor productivity change and change in technological progress is equal to 0.7970; it is significant at 5% threshold. Technological progress plays an important role in determining productivity gains.

In the railway industry, technological progress can be assimilated to any change in the production process. This can entail either the development of high speed or the network electrification or an improvement in the quality of service.

In fact, data show a significant improvement in the number of electrified lines, ranging from 39% in 1997 to about 55% in 2011. Similarly, high-speed passenger transport has considerably improved. In 1997, about 13% of total passenger transport was handled by high speed, while in 2011; about 27% of total passenger transport was handled by high speed. It is

in part the totality of these process innovations, which allowed us to notice that technological progress is the main source of productivity gains. Based on this result, one can think that the best performing companies are those, which achieve a strong increase in technological advancement.

Table 3-10: Spearman correlation

	TEC3	SEC3	TC3	TFP3
TEC3	1			
SEC3	0.2371*	1		
TC3	0.0271	0.0648	1	
TFP3	0.5588*	0.1798*	0.7970*	1
*P<0.05				

The average value of scale efficiency change is estimated at 0.99, which shows that scale efficiency contributes little to the achievement of production gains. However, as proved by Spearman coefficient, there is a positive and significant correlation between scale efficiency change and change in total factor productivity. So, an improvement in scale efficiency could be a lever to increase productivity gains.

Finally, the third component is given by the change in technical efficiency. This component measures productivity gains that the company can achieve as a result of an improvement in the level of technical efficiency. As shown by descriptive statistics, the average value of technical efficiency change is estimated at 1.000876. This figure shows that, on average, technical efficiency change positively contributes to the achievement of productivity gains, a result also found using the Spearman coefficient. Indeed, the value of the correlation coefficient between variation in technical efficiency and variation in total factor productivity is estimated at 0.558; this coefficient is significant at 5% threshold, which shows that there is a positive and significant correlation between the technical efficiency change and the change in total factor productivity.

3.3.3 Comparative analysis

In this section, we shall present a comparative analysis of the performance of railway companies per region. This comparative analysis has a threefold objective: identifying the best performing regions; presenting regional performance trajectories; identifying the best performing countries.

3.3.3.1 Productive efficiency

As a reminder, productive efficiency measures the way a railway company uses its inputs (track length, number of cars, number of wagons, staff and number of locomotives) in order to produce outputs (the number of passenger trains-km and freight).

Descriptive statistics (see Table 3-11) show that between 1997 and 2011, the average of productive efficiency is estimated at 0.907 for Western Europe countries, 0.906 for Northern Europe countries, 0.89 for Southern Europe countries and finally 0.86 for Eastern Europe countries. Western Europe countries are the most efficient.

As we have estimated an input-oriented efficiency frontier, the average efficiency value obtained per region allows us to say that in Eastern Europe, between 1997 and 2011, railway companies could reduce the level of inputs by 13.1% for the same level of production. In the same vein, the reduction is 10.5% for countries of Southern Europe, 9.4% for countries of Northern Europe and 9.3% for Western Europe countries.

Table 3-11: Descriptive Statistics of Productive Efficiency

VARIABLES	REGIONS	Mean	Std.Dev.	Min	Max
EFFICIENCY PRODUCTIVE	EAST	0.869386	0.078582	0.653601	0.973815
	NORTH	0.906033	0.031890	0.835348	0.969389
	WEST	0.907232	0.038746	0.795892	0.973135
	SOUTH	0.895274	0.059646	0.713662	0.964412

We conducted a Kruskal-Wallis test to verify whether there is a significant difference in the distribution of productive efficiency between the different regions in our sample. The results of this test are reported in table 3-12. The null hypothesis tested is as follows:

H0: median productive efficiency is the same regardless of the region, or the distribution of productive efficiency is the same regardless of the region.

The results of this test show that at the 5% threshold, we can reject the hypothesis that the efficiency distribution is the same regardless of the region under consideration. In other words, results of the Kruskal-Wallis comparison test show that there are at least two regions with different distributions of productive efficiency. Which enable

Table 3-12: Comparative test of productive efficiency distributions per region

Regions	Observations	Rank-sum
EAST	90	9850
NORTH	45	6120
WEST	60	8529
SOUTH	60	8141
Chi-2	9.085	
Probability	0.0282	

This result allows us to say that the best performing companies are those of Western Europe, followed by those of Northern Europe. At the bottom of ranking per region, are companies from Southern Europe and those from Eastern Europe.

Figure 3-5 shows the histogram of average productive efficiency values per country, while Appendix 3-1 shows the measures of central tendency of this variable according to countries. This figures show that, the most performing companies are: The Czech Republic (92.8%), Austria (91.9%), Sweden (91.9%), Slovenia (91.9% %) and Germany (91.4%). While Romania (82.4%), Slovakia (85.2%), Poland (86.6%) and Bulgaria (86.7%) are at the bottom of ranking.

For the western and northern regions, the analysis of evolution of the average productive efficiency allows us to distinguish two periods: the first one which runs from 1997 to 2008 is marked by a stability of this indicator, while between 2008 and 2011, it goes downwards. For countries of the Southern region, the average productive efficiency is globally increasing between 1997 and 2008 and then decreases between 2008 and 2011. Finally, for countries of Eastern Europe, the average productive efficiency is globally decreasing between 1997 and 2000 and then globally increasing between 2000 and 2007 and finally decreasing between 2007 and 2011 (see figure 3-6).

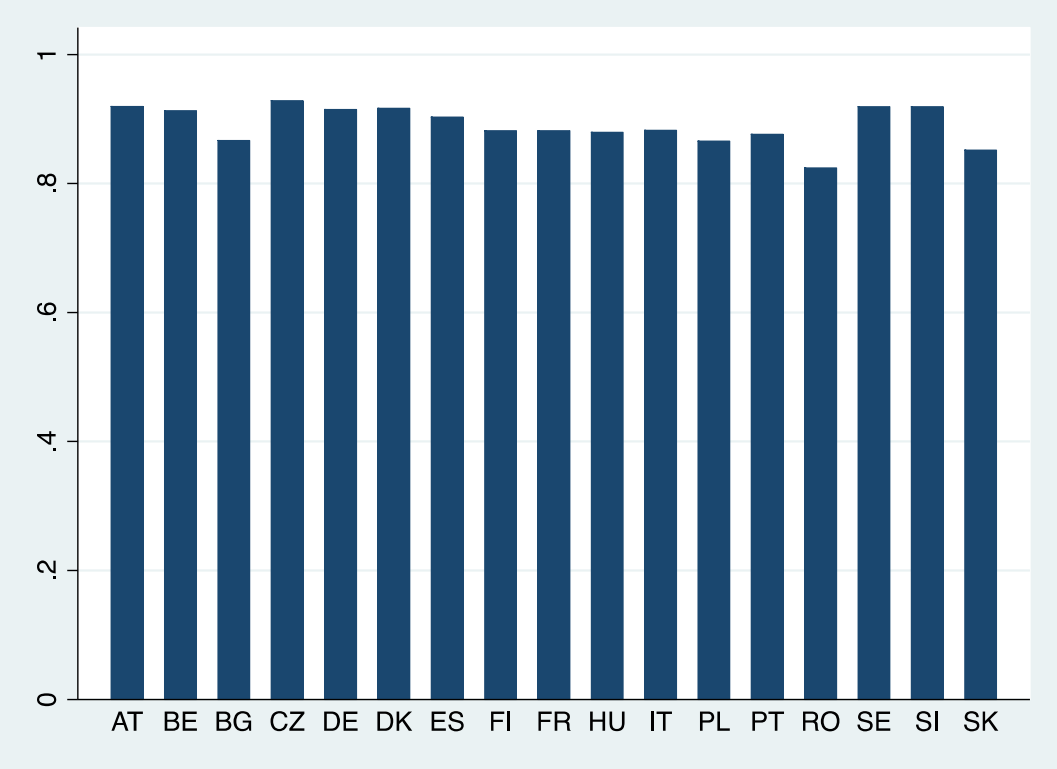


Figure 3-5: Histogram of productive efficiency per country
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

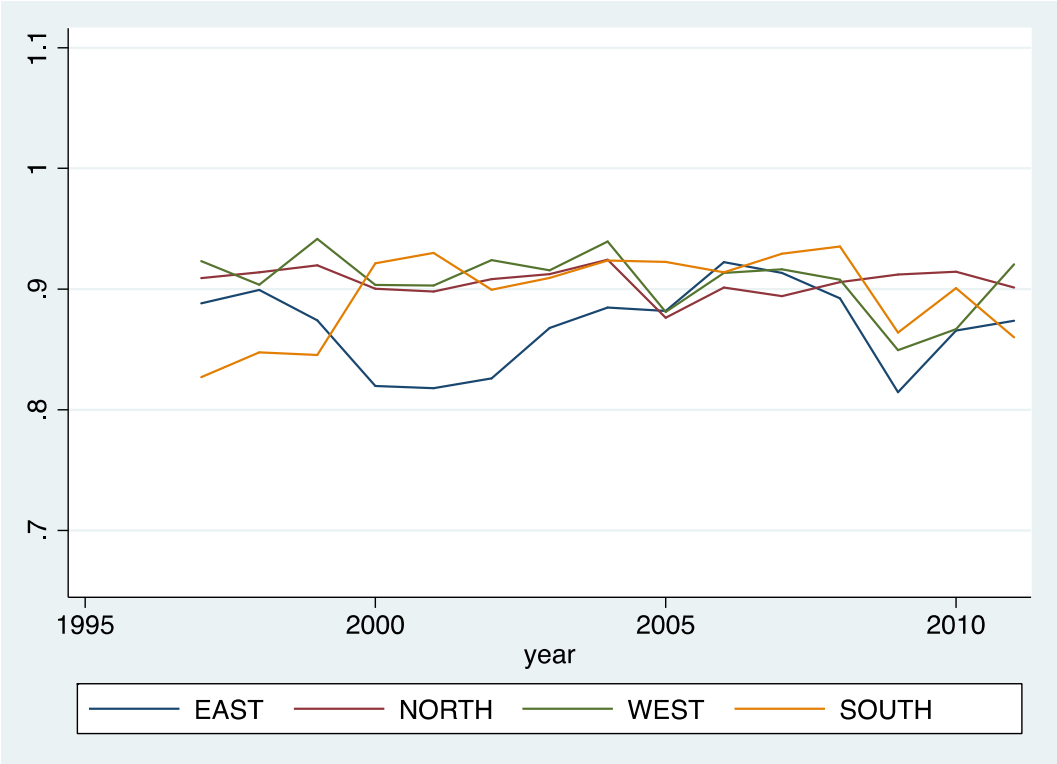


Figure 3-6: Average productive efficiency per region
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

3.3.3.2 Total factor productivity change 1

As mentioned above, change in total productivity and its various components were calculated based on the estimated coefficients of the productive efficiency frontier. As a reminder, the factors explaining the change in total factor productivity are: the change in technical progress (see *formula 3-1*), the change in productive efficiency (see *formula 3-2*) and finally scale efficiency change (see *formula 3-3*).

Descriptive statistics (see table 3-13) show that, on average, total factor productivity is estimated at 1.103 for Western Europe countries, 1.053 for Eastern Europe countries, 0.938 for Southern Europe countries and finally 0.844 for Northern Europe countries. These data show that between 1997 and 2011, Western Europe countries achieved, on average, 10.3% productivity gains while for Eastern Europe countries, these productivity gains are about 5.30%. In the same vein, we can notice that countries of Northern Europe and those of Southern Europe recorded productivity losses of respectively 16.4% and 6.2 %.

Table 3-13: Descriptive statistics of the variation in total productivity 1

TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY CHANGE				
REGIONS	Mean	Std.Dev.	Min	Max
EAST	1.052651	0.115227	0.766035	1.593190
NORTH	0.844346	0.040180	0.753636	0.922496
WEST	1.102495	0.120684	0.822106	1.368743
SOUTH	0.937976	0.130769	0.658432	1.234289

The trend analysis (see *figure 3-7*) shows that the average of total factor productivity change for the Northern European countries is globally stable throughout the period but remains relatively low compared to the other regions. From the point of view of total factor productivity, the northern region is ranked fourth. As regards countries, it can also be noticed that the average of total factor productivity globally decreases between 1997 and 2008 and then increases slightly between 2009 and 2011. Finally, for Eastern Europe countries and those of Western Europe, evolution of the average of total productivity is almost identical. Indeed, between 1997 and 2003, while the average of total productivity of Western Europe countries is globally stable, that of Eastern Europe countries is showing a slight increase. In contrast, between 2003 and 2009, this average of total productivity decreased in both regions. Lastly, between 2009 and 2011, this indicator is globally rising in both regions. We can however notice that the trend of total factor productivity in Western European countries is

generally above that of Eastern European countries, showing that countries of Western Europe are the best performing compared to the other countries of the sample.

Figure 3-8 shows the histogram of average values of the change in total factor productivity 1 per country, while Appendix 3-3 contains the average values of total factor productivity change 1 and those of its main determinants. From the total factor productivity perspective, the best performing countries are Germany, which recorded on average +22.45% productivity gains between 1997 and 2011. France is ranked second with +17.02%, followed by Poland (+15.47%). Italy is coming at fourth position (+11.81%), while the Czech Republic is in the fifth position with +8.49%. Denmark (-18.7%), Slovenia (-18.1%), Sweden (-14.2%), Portugal (-13.8%) and Finland (-13.8%) are at the bottom in the ranking.

The analysis of Spearman correlation coefficient (see table 3-10) shows that there is a positive and significant correlation between the change in technological progress and that of total factor productivity change. With a correlation coefficient of 0.899, the variation in technological advancement appears to be the main component of the variation in total factor productivity. Thus, the best performing countries are probably those with the greatest variation in technological advancement.

At the individual level, the five best performing countries (those with a higher total factor productivity change) are generally those with a large change in technological progress. Indeed, the change in technical progress is about + 21.68% in Germany. Therefore, this country is first in this ranking, followed by France (+16.60%), Poland (+15.34%), Italy (+11.8%) and the Czech Republic with +8.41%. At the bottom of ranking are Denmark (-18.9%), Slovenia (-16.7%), Portugal (-15.7%), Finland (-13.9%) and Sweden -13.8%).

This result shows that, on average, technological advancement is the main determinant of productivity gains in the railway industry. It should also be noted that other components such as change in scale efficiency and change in productive efficiency have little impact on total factor productivity change 1, since these factors have values relatively close to the unit (appendix 3-3). This is also demonstrated by the Spearman correlation coefficient (see table 3-10).

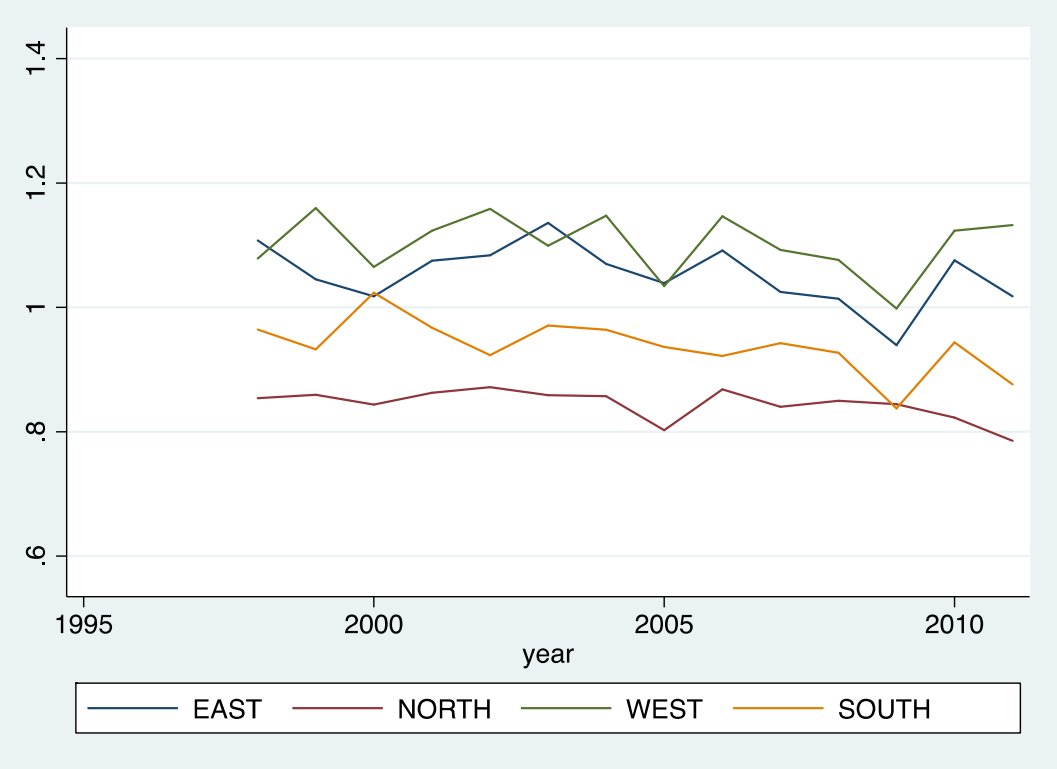


Figure 3-7: Trend of total factor productivity change 1 per region
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

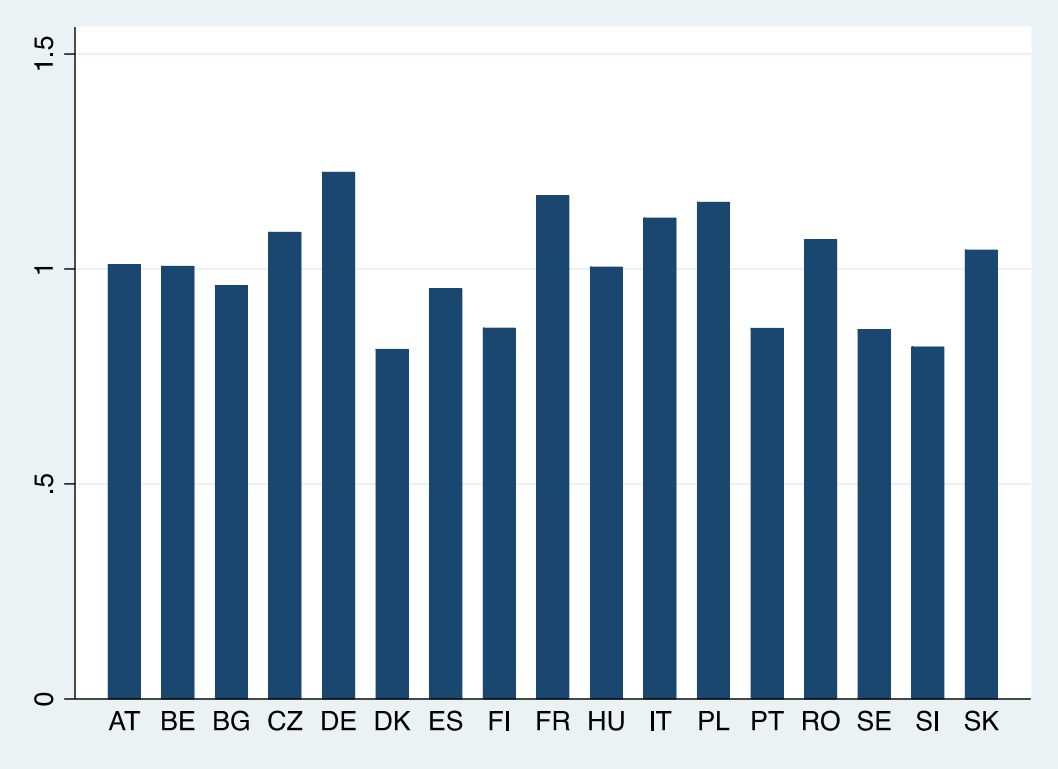


Figure 3-8: Histogram of total factor productivity change 1
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

3.3.3.3 Commercial Efficiency

Table 3-14: Descriptive statistics of commercial efficiency

VARIABLES	REGIONS	Mean	Std.Dev.	Min	Max
EFFICIENCY OF CONSUMPTION	EAST	0.885080	0.076407	0.675325	0.985383
	NORTH	0.877676	0.064536	0.628338	0.948741
	WEST	0.837413	0.101444	0.593560	0.964276
	SOUTH	0.869523	0.062882	0.679542	0.971647

Table 3-15: Test of comparison for the commercial efficiency distributions

Regions	Observations	Rank-sum
EAST	90	13139
NORTH	45	5960
WEST	60	6431
SOUTH	60	7110
Chi-2		11,292
Probability		0,0102

It is important to remind that in order to measure commercial efficiency, we estimated a frontier where the number of passenger trains-km and the number of freight trains-km played the role of inputs, while the tons-Km and the number of passengers-km were used as production outputs. The descriptive statistics of this variable

In order to be able to identify the most efficient region from the commercial efficiency perspective, we carried out a comparison test of the Kruskal-Wallis populations. The results of this test are reported in Table 3-15.

Results of the Kruskal-Wallis test show that for a threshold of 5% there are at least two regions with different efficiency distributions. In other words, the distribution of commercial efficiency varies from one region to another. According to table 3-14, the Eastern region appears to be the most efficient, followed by the northern, southern and western regions, respectively.

Figure 3-9 shows the histogram of average commercial efficiency values per country, while Appendix 3-5 contains the measures of central trend of this variable. Results show that the five best performing countries are: Finland (93.9% of efficiency), Romania (93.4% of efficiency), Poland (93.3% of efficiency), Portugal 91.7% of efficiency) and finally Slovakia (91.3% of efficiency). Austria (65.9% of efficiency), the Czech Republic (75.2% of efficiency), Spain (79.7% of efficiency), Sweden (83.9% of efficiency) and Denmark (85.4% of efficiency) are at the bottom of ranking.

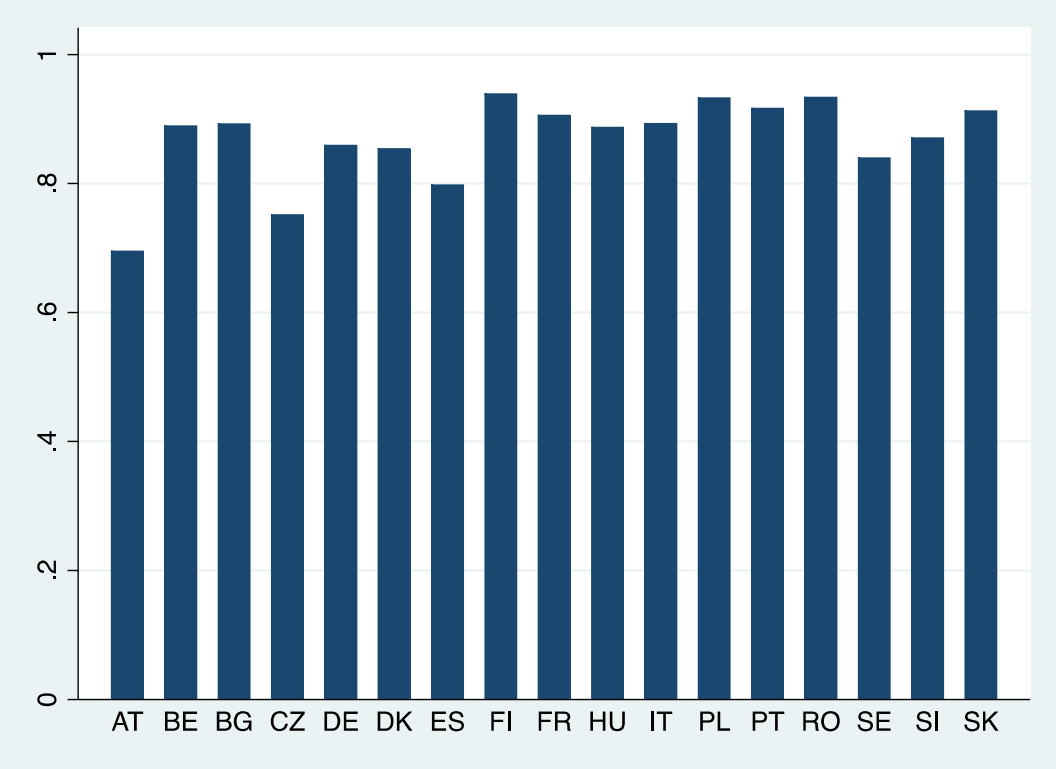


Figure 3-9: Histogram of commercial efficiency
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

For the countries of Southern Europe, Northern and Western Europe, the average of commercial efficiency is globally increasing between 1997 and 2008, and then decreases between 2008 and 2011. On the other hand, for the countries of Eastern Europe, the average of commercial efficiency is globally decreasing between 1997 and 2011 (see figure 3-10). However, it can be noticed that, at the beginning of the period, the Western European countries had a lower average commercial efficiency than the other regions. As a result of the efforts made, these countries have been able to catch up by the early 2008s. Unfortunately, these efforts were quickly halted by the 2008 crisis, since from then the average of commercial efficiency of all the regions declines. The year 2008 can be considered as a point of convergence, because during this year the average commercial efficiency is the same for all the regions except for Eastern Europe. This shows that before the 2008 crisis started, the worst-performing regions could catch up as compared to the most performing regions.

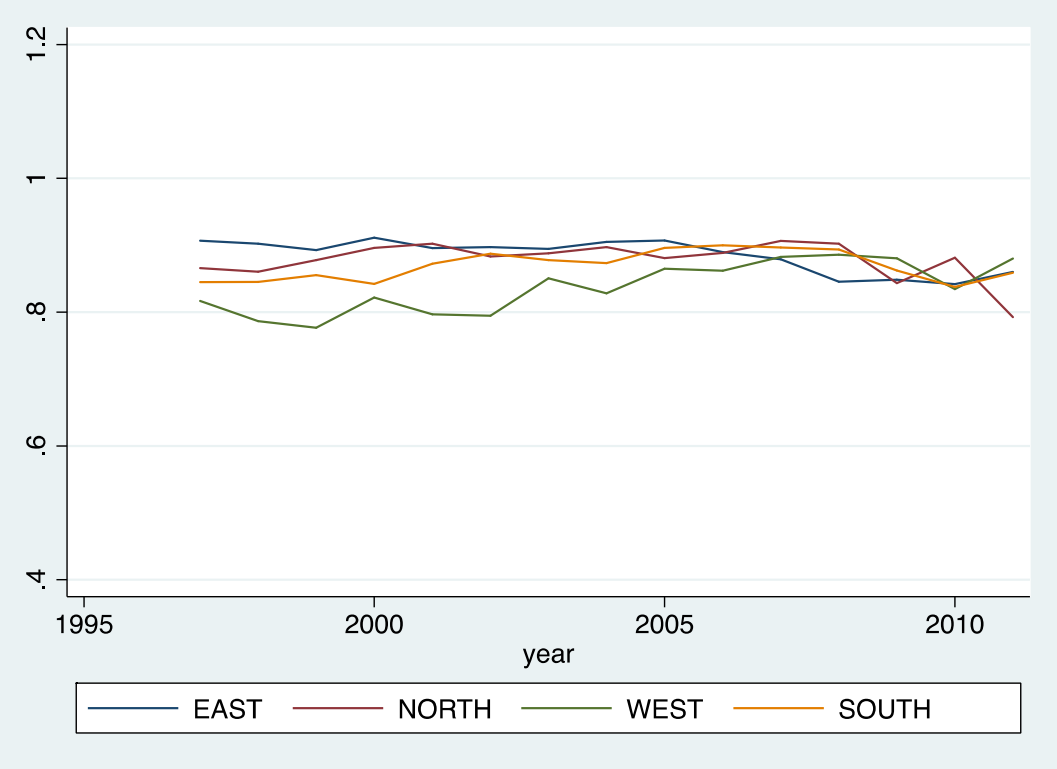


Figure 3-10: Trend of commercial efficiency per region
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

3.3.3.4 Technical efficiency

The descriptive analysis of which the results are reported on *Table 3-16* shows that Western European companies are the most efficient. In fact, the average technical efficiency of the companies in Western Europe is estimated at 88.58%. This figure shows that by reducing the level of their inputs by 11.42%, these companies will keep the level of production unchanged.

The same reasoning can be applied to railway companies in Eastern Europe. As a matter of fact, in this region, technical efficiency is estimated at 79.89%, which shows that companies can reduce the level of production inputs by 20.11%, for the same level of production. Similarly, in northern Europe, companies can reduce inputs by 12.35% for the same level of production, while in southern Europe the reduction is about 12.21%.

Table 3-16: Descriptive statistics of technical efficiency

VARIABLES	REGIONS	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	MIN	MAX
EFFICIENCY TECHNICAL	EAST	0.798866	0.124155	0.489684	0.982225
	NORTH	0.876536	0.081456	0.623950	0.982543
	WEST	0.885806	0.076621	0.571079	0.984551
	SOUTH	0.877919	0.083051	0.644112	0.978934

In order to identify the best performing regions, we performed a non-parametric comparison of the distribution of technical efficiencies. Among all the available tests, we chose Kruskal-Wallis since we have four independent samples. The results of this test are reported in table 3-17.

Table 3-17: Technical efficiency comparison test

Regions	Observations	Rank-sum
EAST	90	8640
NORTH	45	6400
WEST	60	8966
SOUTH	60	8634
Chi-2	26.469	
Probability	0.0001	

The probability associated with this test is 0.0001, which means that the probability of finding at least two regions with different distributions of technical efficiency is 99.99%. In other words, there is a 99.99% chance of finding at least two regions with different distributions of technical efficiencies. Owing to the results of the Kruskal-Wallis test, we can attest that, on average, companies of Western Europe are the most efficient, with an average efficiency estimated at 88.58%. Companies follow them are from Northern Europe (87.6% of technical efficiency). The companies of Southern Europe are third in the ranking with a 87.79% average before companies of Eastern Europe (79.89%).

At the individual level, the top five performing countries of our sample are Austria (93.08%), France (91.25%), Finland (90.30%), Portugal (89.86%) and Italy (89.29%). The five least performing companies are the Czech Republic (66.31%), Romania (77.45%), Bulgaria (80.31%), Germany (82.41%) and Spain (84.02%). For each country, the measures of central tendency are reported in appendix 3-7, while figure 3-11 shows the histogram of average values of the technical efficiencies.

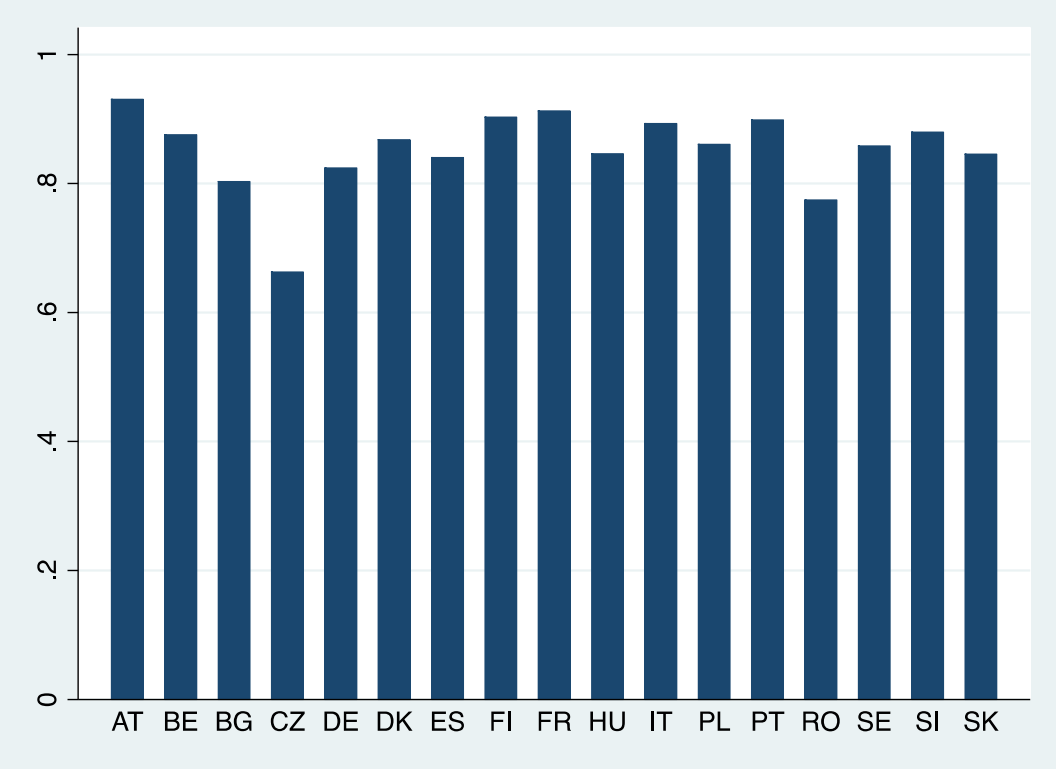


Figure 3-11: Histogram of technical efficiency
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

The temporal analysis of technical efficiency per region (see figure 3-12) shows that for countries of Western Europe, Southern Europe and finally for countries of Eastern Europe, the average technical efficiency is globally increasing between 1997 and 2008, and then decreases between 2008 and 2011. For countries of Northern Europe, the average of technical efficiencies shows a contrary trend. In fact, between 1997 and 2009, this indicator is globally decreasing for countries of this region, while between 2009 and 2011 it is increasing.

This result shows once again that the performance of railway in a given country is linked to the evolution of the economic situation of this country, because from 2008 the average technical efficiency is globally decreasing for all the countries of our sample.

The evolution of technical efficiency indices (see Appendix 3-6) shows that between 1997 and 2011, Southern Europe countries have an average technical efficiency higher than that of 1997, whereas for Western Region countries and those of the Eastern Region, it was from 2004 that average technical efficiency was higher than in 1997. In other words, between 2004 and 2008, the averages of technical efficiency of the countries of west region countries and East region countries are higher than the efficiency level achieved in 1997. Finally, for countries of the Northern region, the average of technical efficiencies is significantly lower than the level achieved in 1997.

Evaluated from technical efficiency, this result shows that since 1999, countries of the South region have recorded a performance improvement compared to 1997. For Western and Eastern European countries, performance improved only between 2004 and 2008, and is then halted by the 2008 crisis. Finally, Northern Europe countries recorded a continuous decline in performance.



Figure 3-12: Trend of the averages of technical efficiencies per region
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

3.3.3.5 Total Productivity 3

For each region, table 3-18 shows the characteristics of central tendency, ie the average, standard deviation, minimum and maximum of total factor productivity 3. According to this table, Western Europe is the most efficient region. This region records an average of 1.1175 on total factor productivity, which implies 11.75% of productivity gains. The Eastern Europe countries are in second position with an average of 1.0487 (4.87% of productivity gains). The third position is taken by the South region which records an average of 0.9593, or about -4.07% of productivity gains. Finally, the North region comes in fourth position with an average of 0.8801, which is -11.99% of productivity gains. This result shows that, on average, the countries of Eastern Europe and those of Western Europe recorded productivity gains between 1997 and 2011, while those of the North and South regions recorded productivity losses during the same period.

Table 3-18: *Descriptive statistics of total productivity 3*

REGIONS	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	MIN	MAX
EAST	1.048669	0.127825	0.727642	1.372250
NORTH	0.880132	0.098277	0.590224	1.190647
WEST	1.117481	0.133848	0.807250	1.470858
SOUTH	0.959267	0.154628	0.673826	1.305506

For the purpose of seeing if the distribution of total factor productivity change is different from one region to another, we performed out the Kruskal-Wallis rank-sum test whose results are reported on Table 3-19. Based on the results of this test, we can say with a probability of 99.99% that there are at least two regions with different distributions of total factor productivity change. This result allows us to notice that Western Europe countries are the most efficient.

At the individual level, results show that the top five performing countries, ie those with the highest productivity gains in our sample, are Germany (+23.4% of productivity), France (+18.1% of productivity gain), Poland (+16.9% of productivity gain), Italy (+14.7% of productivity gain) and the Czech Republic (+7.4% increase in productivity). At the bottom of ranking, are Slovenia (-15.7%), Finland (-13.5%), Sweden (-12.1%), Portugal (-11.9%) and Denmark (-10.3%).

Figure 3-13 shows the histogram of average values of variation in total factor productivity, while appendix 3-10 contains the average values of the main determinants of total factor productivity.

Table 3-19: Results of the Kruskal-Wallis test (TFP3)

Regions	Observations	Rank-sum
EAST	90	11504
NORTH	45	2367
WEST	60	9268
SOUTH	60	5302
Chi-squared	73.001	
Probability	0.0001	

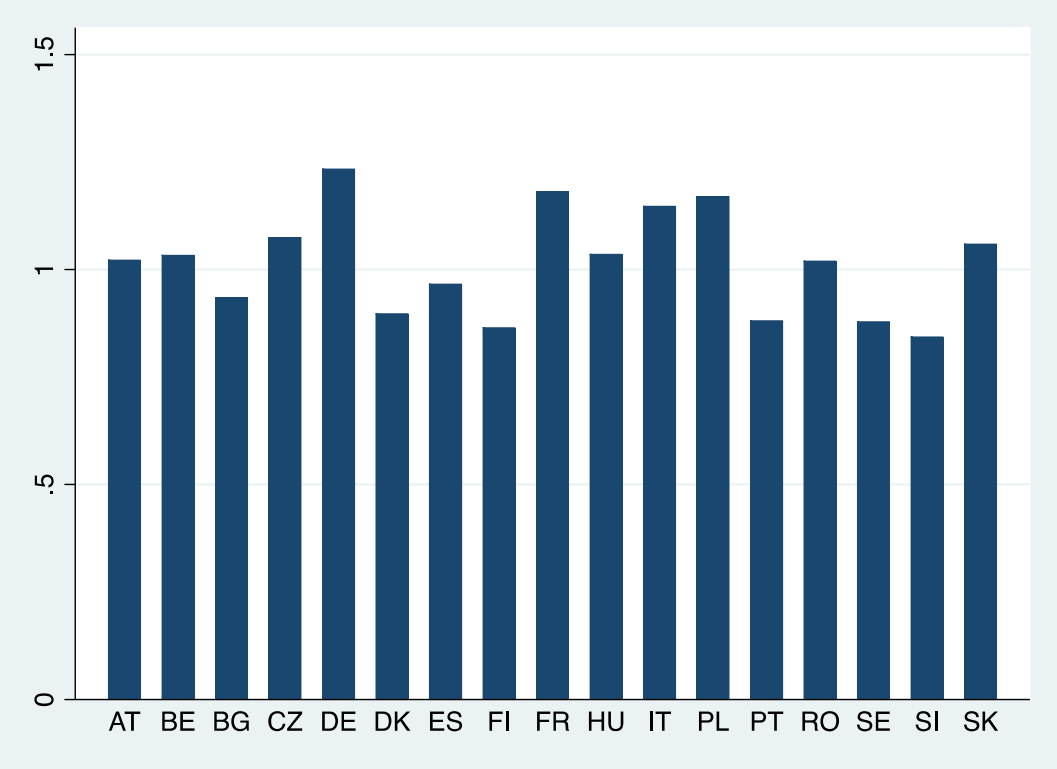


Figure 3-13: Histogram of the average values of variation in total productivity 3
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

As shown by Spearman coefficient (see Table 3-10), there is a strong positive and significant correlation between the change in total factor productivity 3 and the change in technological progress, since the Spearman correlation coefficient is estimated at 0.797 and is significant at the 5% threshold. This result shows that the variation technical progress is the main component of the total factor productivity change.

At the individual level, this result is confirmed since the five top performing countries from the point of view of the change in total factor productivity are those with a large technical change. This change is estimated at +23.7% for Germany, +17.55% for France, +14.13% for Poland, +13.4% for Italy and +9.89% for the Czech Republic.

The trend analysis of the average change in total factor productivity per region allows us to distinguish two periods (see figure 3-14):

- The first period from 1997 to 2009 is marked by a downward trend of the variation in factor productivity for all the regions. For Western European countries, this indicator takes values between 1 and 1.35, while for Eastern countries this indicator takes values between 1 and 1.13. These figures show that, on average, between 1997 and 2008 the Western Europe countries and those of Eastern Europe are achieving productivity gains. On the contrary, for the countries of Northern

Europe and those of Southern Europe, the average of change in total factor productivity takes values less than one. This result shows that, on average, countries in these regions suffer from a lack of productivity.

- Between 2009 and 2011 (period 2), the average of total factor productivity change is globally increasing for all the regions. However, it can be noticed that, on average, only Western Europe countries and Eastern Europe countries realize productivity gains, as the average value of variation in total factor productivity is globally higher than one.

It is worth underlining that Chapter 4 of this thesis is devoted to the analysis of the main determinants of railway performances. Nevertheless, we shall try to justify the performance gaps we have just observed. The railway performance can be explained by several factors including: the level of intermodal competition, the rolling stock utilization rate and frequency of the network use (see appendix 3-12 for the summary).

Two indicators are generally used to assess the degree of intra modal competition: the market share of passenger railway transport and the market share of freight transport. These indicators are given by the number of passengers km made by the train and the number of passenger km made by all transport modes for the market share of the passenger railway transport and the ratio of the number of tons km made by the train in relation to the number of tons km achieved by all the transport modes for the market share of the railway transport of goods.

As regards our sample, the market share of passenger transport recorded a slight improvement between 1997 and 2011. It rose from 17.3% in 1997 to 19.6% in 2011, ie a 13.5% increase. This growth is mainly attributed to countries of the North, South and West regions. Indeed, for Western Region countries, the market share of railway passenger transport increased from 37% in 1997 to 49% in 2011, ie a 32% increase. Notwithstanding the fact that this increase can be explained by commercial policies in force in these countries, one cannot ignore the significant effect of rail traffic of high-speed trains. In 1997, about 13% of the traffic was carried out by high speed compared to 25% in 2011. For Southern countries, the market share of the passenger transport is rising less than that of Western countries.

In fact, for this region, passenger railway traffic accounted for about 17% of total traffic in 1997, compared to 18% in 2011, that is a 6% increase. During the same period, the share of traffic carried by high-speed traffic rose from 2% to 6%. For Northern countries, the situation is fairly similar, as the passenger railway traffic rose from 5% in 1997 to 7% with

low growth in high-speed traffic (0.7% in 1997 compared to 1.8% in 2011). Eastern Europe countries are characterized by a significant decline in the market share (10.18% in 1997 compared against 6.9% in 2011).

Regarding the freight business, results are quite contrasted. For the whole sample, the share of freight dropped by 3.15% between 1997 and 2011. The regions responsible for this drop are the East (-25.65%) and the South (-12. 94%). On the other hand, in the West and the North there was a growth of 17.12% and 12.42% respectively.

As indicators of the use of rolling stock, we selected the number of passengers per train and the number of tons per train. Descriptive statistics show that the number of tons per train is rising for the entire sample. +8.25% in the East, +18.55% in the North, +42.25% in the South and finally +54.69%. The countries of Western Europe stand out once again by their best performance. The analysis of the number of passengers per train shows a quite different result. -% 35% for Eastern countries, -4.77% for Northern countries, +3.48% for Southern countries and +6.70% for the West. This result shows that passenger trains are increasingly empty in the East and in the North, but they are filling up at a slow rate in other regions.

In terms of travel per capita, the West still stands out with its best performance. In 1997, each inhabitant of Western Europe made an average of 17 journeys by train, a result which is also observed for inhabitants of the North. On the other hand, the average number of trips is estimated at 12 for the inhabitants of Eastern Europe and 10.58 for those of the South. In contrast, in 2011, the average number of trips per inhabitant is estimated at 25 for the West, 23 for the North, 11 for the South and 9 for the East. These data show that railway networks of western countries are more attractive because between 1997 and 2011, the average number of trip per capita increased by 46%, while in the North, the number of trips increased by 37%. Finally, the average number of trips per capita increases by 1.65% in the South and declines by 28.83% in the East.

Finally, concerning the average distance travelled, it is estimated in 1997 to be 931.40 km for Western countries, 811.43 for Northern countries, 680.94 for Eastern countries and 507.44 Southern countries. On the contrary, in 2011, the average distances travelled are: 1,174.82 in the West, 1,056.54 in the North, 511.62 in the South and 480.25 in the East. The North is therefore the leading region with a growth of 30.21%, followed by the West with a growth of 26.13% and 0.82% for the South. The East comes in fourth position with a of

29.47% decrease. These data show that rail mobility is higher in the West and in the North.

This descriptive analysis shows that several factors can influence the railways performance. In chapter 4, we are going to use a limited dependent variable model to identify the correlation between these variables and performance indicators. The Western region stands out from others of the sample with its best performances

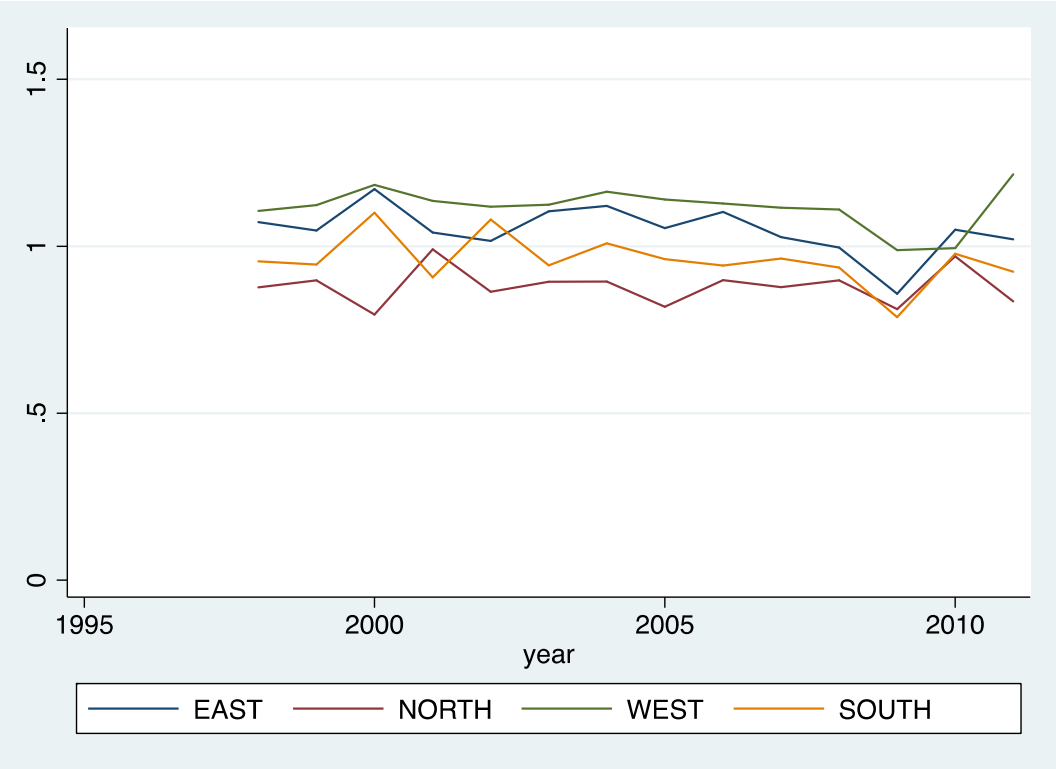


Figure 3-14: Average Variation in Total Factor Productivity 3
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

3.4 Measurement and test of convergence

3.4.1 Indicators of convergence measurement

There is convergence between the economies of several countries if the gaps between their incomes per capita tend to decrease over the period considered (Lamarlière and Staszak 2000, P 437). There is convergence when the difference between the series or their dispersion is reduced in time. Applied to rail industry, one can say that there is convergence if the gaps between railway performances tend to be reduced over time. Two ways of defining convergence can be globally identified: depending on the average evolution of their

difference, in this case we talk about beta convergence (β–convergence) or according to the evolution of their dispersion, in this case we talk about Sigma convergence (σ–convergence). R. Barro and Sala-i-Martin (1991; 1992; 1995) were the first authors to formalize the notion of convergence. It was one of the major issues of growth literature for several years, as it was a question of whether the economies of the less developed countries could catch up with the per capita income level of the richer economies.

The beta convergence studies the return-to-average behaviour of a set of variables. According to the neoclassical growth model, the growth rate of per capita production in a region is positively related to the distance which does not depends on the initial conditions in which that region was located. The test of β–convergence conveys the fact that poor countries grow faster than rich countries. In fact, according to the economic theory, the β–convergence is a common measure because it renders possible to quantify and measure the concept of convergence speed.

Based on the idea that poor countries will catch up rich countries if they achieve a higher growth rate, the test procedure consists in reducing the growth rate of the series on the initial level of the series [Fuss (1999)], which leads us to the following equation:

Equation 3-8: Growth rate (Fuss, 1999)

$$\frac{\left[\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j0}\right)\right]}{t}=\alpha+\beta\ln\left(y_{j0}\right)+\varepsilon_{jt}$$

Convergence is concluded if the coefficient of initial level β is negative and significant for a given threshold.

With the Panel data, Canova and Marcet data (1995), propose to rather estimate the following relation in order to appraise the β– convergence.

Equation 3-9: Canova and Marcet (1995)

$$\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j,t-1}\right)=c_i-\beta\ln\left(y_{i,t-1}\right)+\varepsilon_{jt}$$

The coefficients c_i represent the fixed effects and enable to introduce different stationary states. $\varepsilon_{jt,}$an error term who follows a normal distribution with zero mean and of constant variance.

We can distinguish β– absolute convergence and β–conditional convergence. The β–convergence is said to be absolute when it does not take into account the initial conditions of the variables, implicitly assuming a similarity in their characteristics. It is usually tested on cross-section models. The β–convergence is said to be conditional when it takes into account

the initial conditions. The convergence is based on the homogenization of growth rates rather than on levels of wealth. To test the conditional β–convergence, additional explanatory variables must be introduced into the regression. In conclusion, there is β–convergence when a negative and statistically significant correlation is observed.

The analysis of the σ–convergence consists in studying the evolution of the sample dispersion in cross-section. In order to evaluate this dispersion, some authors use the standard deviation of the sample at the beginning and at the end of the period or the coefficient of variation. As a reminder, the coefficient of variation is the ratio of standard deviation to the average; it is generally expressed as a percentage. Without a unit, the coefficient of variation enables the comparison of distributions of values whose measurement scales are not comparable. The higher the coefficient of variation, the greater the dispersion around the average. The coefficient of variation is therefore a more appropriate measure because it does not depend on the measurement unit. The standard deviation will underestimate σ–convergence in case of increasing series. There is a σ–convergence when the dispersion decreases over time.

Henin and Pen (1995) and Hart (1995) propose another way of analysing σ–convergence. Rather than focusing on evolution of the dispersion coefficient, a dispersion reduction test can be carried out. The process of this test is therefore based on an estimation of the following equation:

$$\boxed{\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j0}\right)=\alpha-\beta\ln\left(y_{j0}\right)+\varepsilon_{jt}}$$

There is σ–convergence if $(1-\beta)^{2}/R^{2}<1$, whit R^{2} the multiple correlation coefficient between $\ln(y_{jt})$ and $\ln(y_{j0})$ of the previous equation. This relation can be tested using a Student test

In fact, the σ–convergence conveys two mechanisms. On the one hand, it comes from the catching-up processes (β–convergence), and on the other hand, it appears as a result of the shock effects to which States economies are subject. Consequently, the convergence σ– test can sometimes generate contradictory conclusions with those obtained from the hypothesis β–convergence. "The consideration of the sigma convergence test in the study of the convergence phenomenon has the advantage of comparing each entity not to its own performances, but also to the best practices of the group studied", [Boussemart and Saidane (2005)].

For various criticisms addressed to these tests, the reader can refer to the following authors: Bernard and Durlauf (1991); Bernard and Durlauf (1995); D. Quah (1993a; 1993b; 1994; 1996).

3.4.2 The convergence β– test

We are going to focus our analyse at the absolute β– convergence test. Referring to the definition of the convergence of Barro and Sala-i-Martin, there is convergence if over time, the efficiency scores tend towards the frontier. In order to test the β– absolute convergence of railway performances, we opt to use a longitudinal section approach (panels data), which allows estimating the following equations:

Equation 3-10: Growth rate in longitudinal section

$$\ln\left(y_{jt}\right)-\ln\left(y_{j,t-1}\right)=c_i-\beta\ln\left(y_{i,t-1}\right)+\varepsilon_{jt}$$

With:

$y_{j,t}$ = the efficiency score observed at period t

$y_{j,t-1}$ = the efficiency score observed at period t-i i =

country indices, i = 1…….17

ε_{jt}=random term, which follows a normal distribution with zero mean and constant standard deviation

c_i= fixed effects

Two indicators whose measures are based on the estimates of β can supplement the convergence process. This is the convergence speed ϕ which defines the annual rhythm to which countries can converge towards the benchmark: $\phi = -[\ln(1 + \hat{\beta}N)]/N$, with with $\hat{\beta}$ the estimated coefficient of □.

The second measure is the half-life □ which is used to evaluate the necessary time for countries to reduce by half the gap between their stationary state: $\tau = -\frac{\ln(2)}{\ln(1+\beta)} \approx \frac{\ln(2)}{\ln(1-\phi)}$.

As a reminder, the □**-absolute convergence** lays on the homogenisation growth rates rather than on wealth levels. In order to solve the heterogeneity problem between countries, Galor (1996) proposed to divide the studied sample into subgroups of countries whose stationary states are assumed to be similar. We then carry out the β-absolute convergence test on the subgroups constituted, called convergence clubs. Based on Galor's recommendation, we divided our sample into two sub-samples. The first subsample is made up of the top

performing countries at the beginning of the period, ie those with a higher efficiency score in 1997 and the second one made up of the rest of countries.

From the productive efficiency perspective, the first sample (of which EP >93 %) is composed of Romania, the Czech Republic, Slovenia, Belgium, Bulgaria, Sweden and Austria. Taking into account commercial efficiency (of which EC > 90%), sample number 1 is composed of Portugal, Poland, Finland, Hungary, Bulgaria and Romania. To end, from a technical efficiency perspective (of which ET > 92%), sample number 1 is composed of Denmark, Belgium, Romania, Sweden, Bulgaria and Austria.

Results of the convergence β- test for total Sample

Table 3-20: Results of the β-convergence for the all sample

Efficiencies	Coef	Robust standard error	t(β)	R-squared	Speed of convergence	Half-life (τ)	Prob>F	sigma_u	sigma_e	rho
Production	-0.00637***	0.000705	-9.03	0.270	6.51%	108	0.13	0.020	0.058	0.109
Commercial	-0.00564***	0.000753	-7.49	0.203	6.58%	123	0.00	0.040	0.052	0.373
Technique	-0.0105***	0.000514	-20.37	0.654	6.10%	66	0.00	0.038	0.065	0.250
	*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1									

For the total sample, results of the estimate of equation 3-10 are shown in table 3-20. Based on the results written in this table, we observe movement of absolute convergence for all countries of the sample for the three forms of efficiency, as coefficients β are negative and significantly different from zero. The results of Student test whose tested hypothesis is, H0: β=0 against H1: β>0 leads us to reject the null hypothesis (H0). Consequently, we can infer that there is a movement of absolute convergence towards the frontier formed by the most competitive. However, the speeds of convergence are different.

From a productive efficiency perspective, the estimate of growth rate gives a fairly low annual convergence rate, i.e. 6.51% per year and a half-life of 108 years. This means that it would take 108 years for railways with low productive efficiency to halve their level of inefficiency compared to the benchmark. In the same vein, the estimate of growth rate of commercial efficiency gives a catch-up rate of 6.58% per year and a half-life of 123 years. It would take 123 years to eliminate commercial inefficiencies by half in order to reach stationary state. Finally, the estimate of the growth rate of technical efficiency gives a low annual convergence rate, i.e. 6.10% per year and a half-life of 66 years. This result shows that low-technical efficiency railways have about 66 years to reduce by half the technical inefficiencies in order to reach the border

Result of the convergence β- for Sample 1

For sub-sample 1, the results of β-convergence test are reported in Table **3**-21. All things being equal, the results reported in this table show that the estimated coefficients β are negative and statistically different from zero for each type of efficiency. It is means that there is a convergence phenomenon of all countries towards the frontiers of efficiencies. The estimate of the growth rate of productive efficiency gives a convergence rate of 6.01% and a half-life of 61 years. These figures show that the gap between the productive inefficiency scores and the benchmark can only reduced by half in 61 years. Similarly, the estimate of the growth rate of commercial efficiency yields a catch-up speed of 6.21% per year and a half-life of 74 years. In other words, it would take 74 years to reduce by half the gap between the commercial efficiency scores and the steady state. Finally, the estimate of the technical efficiency growth rate gives a catch-up speed of 5.99% per year and a half-life of 60 years. These figures show that the railways of this group can, within 60 years, reduce by half technical inefficiency gaps.

Table 3-21: Results of the β-convergence for sample 1

Efficiency	Coef	Robust standard error	t(β)	R-squared	Speed of convergence	Half life (τ)	Prob>F	sigma_u	sigma_e	rho
Productive	-0.0113***	0.000407	-27.81	0.925	6.01%	61	0.022	0.014	0.016	0.431
Commerciale	-0.00929***	0.000498	-18.66	0.755	6.21%	74	0.003	0.011	0.018	0.248
Technique	-0.0115***	0.000715	-16.15	0.839	5.99%	60	0.000	0.026	0.026	0.504
	*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1									

Results of convergence β-test for Sample 2

For sub-sample 2, the estimated coefficients of β are statistically different from zero at the threshold of 1%, which leads us to reject the null hypothesis and consequently, we infer that there exists an absolute convergence movement towards the frontier of technical efficiency (see table 3-22).

From a productive efficiency perspective, the estimate of equation 3-10 gives a convergence speed of 6.45% per year and a half-life of 100 years. It means that it takes an average of 100 years for the railways of sample 2 to reduce by half the productive inefficiencies compared to the benchmark. Similarly, the estimate of the commercial efficiency growth rate shows that with a catch-up rate of 6.40%, it would take 93 years for the railways of this sample to eliminate by half the commercial inefficiencies in order to tend towards the stationary state. Finally, the estimate of the technical efficiency growth rate gives a convergence speed of 5.95% and a half-life of 58 years. These figures show that the sub-sample 2 railways have 58 years to reduce technical inefficiencies by half.

All other things being equal, the β-convergence of railway performance of sub-sample 2 is largely due to the β-convergences of technical efficiencies.

Table 3-22: Results of the β-convergence of the different forms of efficiencies for sample 2

Efficiency	Coef	Robust standard error	t(β)	R-squared	Speed of convergence	half life (τ)	Prob>F	sigma_u	sigma_e	rho
Productive	-0.00693***	(0.000796)	-8.71	0.352	6.45%	100	0.007	0.027	0.054	0.201
Commercial	-0.00744***	(0.00129)	-5.76	0.259	6.40%	93	0.042	0.039	0.060	0.301
Technical	-0.0119***	(0.000659)	-18.09	0.680	5.95%	58	0.000	0.042	0.069	0.270
	*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1									

3.4.3 Sigma convergence test

As stressed in the previous section, there are several ways of testing the existence of σ–convergence. Among these various methods, we opted for a method based on the analysis of the variation coefficient. In other words, in order to test the σ– convergence of railway performance, we adopted for an approach based on the analysis of variation coefficient of efficiency scores.

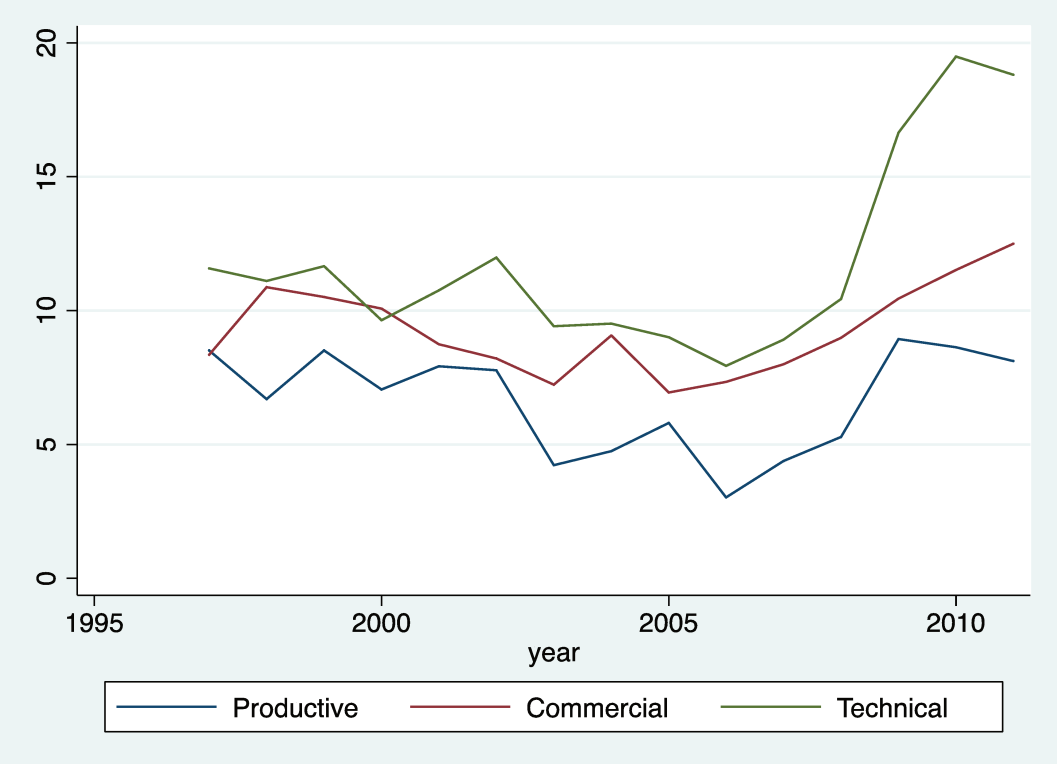


Figure 3-15: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (all sample)
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

For the entire sample, figure 3-15 shows the evolution of variation coefficients of the three efficiency indicators between 1997 and 2011. The descriptive analysis shows that the average coefficient of variation is estimated at 6.64% for production efficiency, 9.25% for

commercial efficiency and 11.79% for technical efficiency. These figures show that for commercial efficiency and technical efficiency, there is a large disparity around the average.

The evolution of these curves shows a downward trend between 1997 and 2006, and then an upward trend between 2006 and 2011. Similarly, one can notice that the reduction in dispersion is not the same between 1997 and 2006, which leads us to believe that there is a random evolution of dispersion with the periods of σ– convergence and periods of σ-divergence. This result shows that external shocks have significantly affected the reduction of disparities between 1997 and 2006. However, the evolutions of these curves also show that between 1997 and 2006, the performance gaps tend to decrease, while between 2006 and 2011, these gaps are widening.



Figure 3-16: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (Productive efficiency)
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

Figure **3-16** shows the evolution of variation coefficients of the productive efficiency of the two groups of our sample while figure **3-17** shows that of technical efficiency the evolution of the coefficient variation in technical efficiency for the two subsamples. Based from to these two figures, the variation coefficient of sub-sample 2 shows a downward trend between 1997 and 2006 and then an upward trend between 2006 and 2011. Thus, for the countries in sample number 2, there is a phenomenon of σ-convergence between 1997 and 2006 and then a σ-divergence between 2006 and 2011. On the other hand, for sub-sample 1,

the coefficient of variation is globally stable throughout the period. It can also be observed that in each figure, the gap between the two curves (evolution curves of variation coefficient for sub-samples 1 and 2) decreases between 1997 and 2006 and widens between 2006 and 2011. Four results can emerge from these figures:



Figure 3-17: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (Technical efficiency)
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

- Within the top performing countries, dispersion is fairly uniform at the beginning of the period, showing that the performance gaps are fairly stable and low around 2%.
- Within sub-sample 2, performance gaps decline between 1997 and 2006, and then it grows between 2006 and 2011. This means that on average, the performance level of this second category of countries has greatly improved between 1997 and 2006, then declined between 2006 and 2011.
- These evolutions show that the average value of productive efficiency and the average value of the technical efficiency of sub-sample 1 are globally stable throughout the period. In contrast, for sub-sample 2, the average values of productive efficiency and technical efficiency recorded an increasing trend between 1997 and 2006, followed by a decreasing trend of these indicators between 2006 and 2011 (see figure 3-18 and figure 3-19).
- The comparative evolution of curves of the two samples shows that between 1997 and 2006, the performance gaps between these two categories of countries tend to

reduce, but between 2006 and 2011 they grows. Thus, from a productive and technical efficiency perspective, the least performing countries have made efforts to improve their performance or to catch up with the best performing countries at the beginning of the period, but these efforts were halted in early 2006.

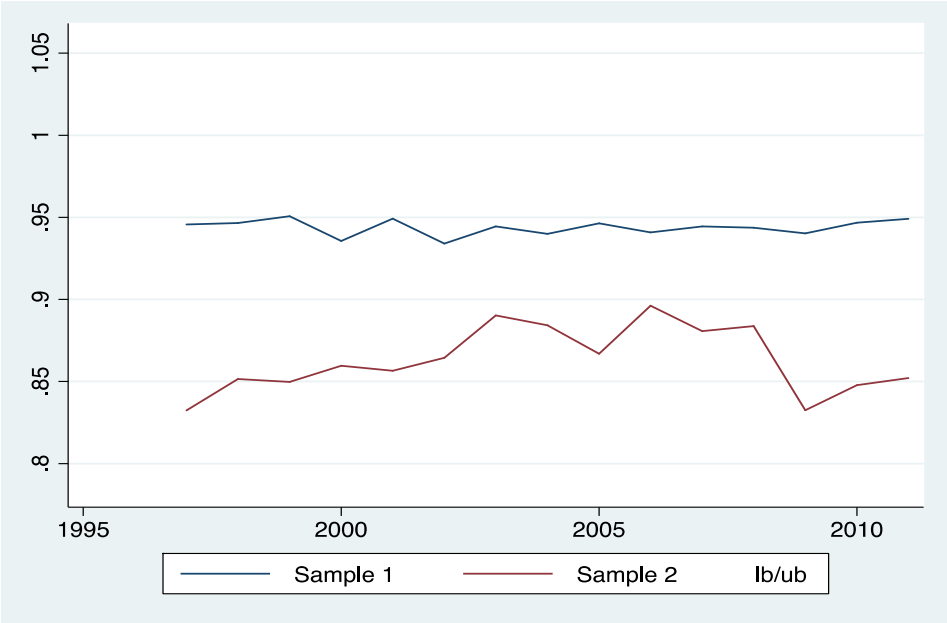


Figure 3-18 Comparative evolution in productive efficiency between 1997 and 2011
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data



Figure 3-19: Comparative evolution in technical efficiency between 1997 and 2011
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

The evolution of the variation coefficient of commercial efficiency (see figure **3-20**) shows that for sub-sample 1, the series is marked by a structural discontinuity between (1997-200, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2005, 2005-2008 and 2008-2011). It is

therefore difficult to determine exactly when σ-convergence phenomenon occurred on an on going basis. On the other hand, for sub-sample 2, the series is also marked by a structural discontinuity between (1997-1998, 1998-2003, 2003-2005, 2005-2008 and 2008-2011). This result shows that the σ-convergence occurred continuously between 1998 and 2003, and between 2004 and 2008, for the remaining periods countries experienced a σ-divergence phenomenon.

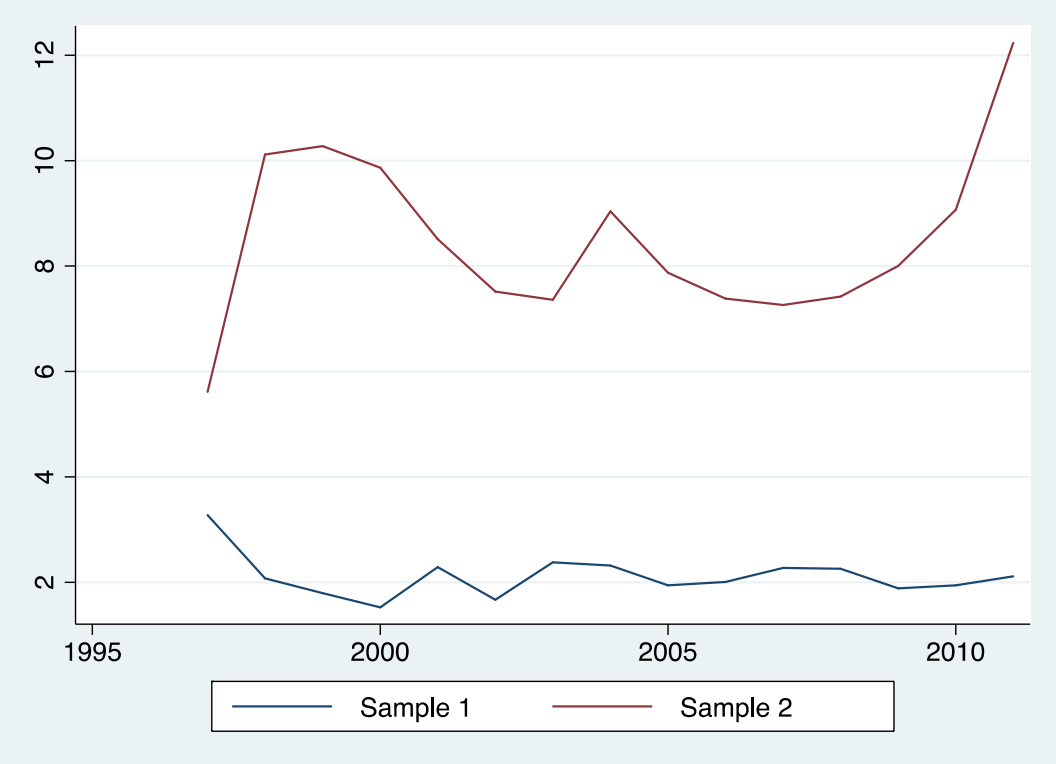


Figure 3-20: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (Commercial efficiency)
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

From Figure 3-20, we can notice that:

- Within the least performing countries at the beginning of the period, the performance gaps are stable and fairly high between 1997 and 2006, because during this period the variation coefficient of the commercial efficiency is slightly declining. On the other hand, between 2006 and 2011, the variation coefficient of this category is on an increasing trend, indicating that performance gaps are widening during this period.
- For sub-sample 1, it can be noticed that the performance gaps are quite stable even if a discontinuous phenomenon of σ– convergence can be observed between 1997 and 2001.
- The comparative evolution shows that the gap between these two curves is slightly

narrowed between 1997 and 2008, and then it widens between 2008 and 2011. We therefore lament the lack of effort of the least performing countries at the beginning of period. As shown in figure 3-21, the commercial efficiency of sub-sample 1 is globally stable throughout the period, while the commercial efficiency of sub-sample 2 is globally decreasing over the entire period.

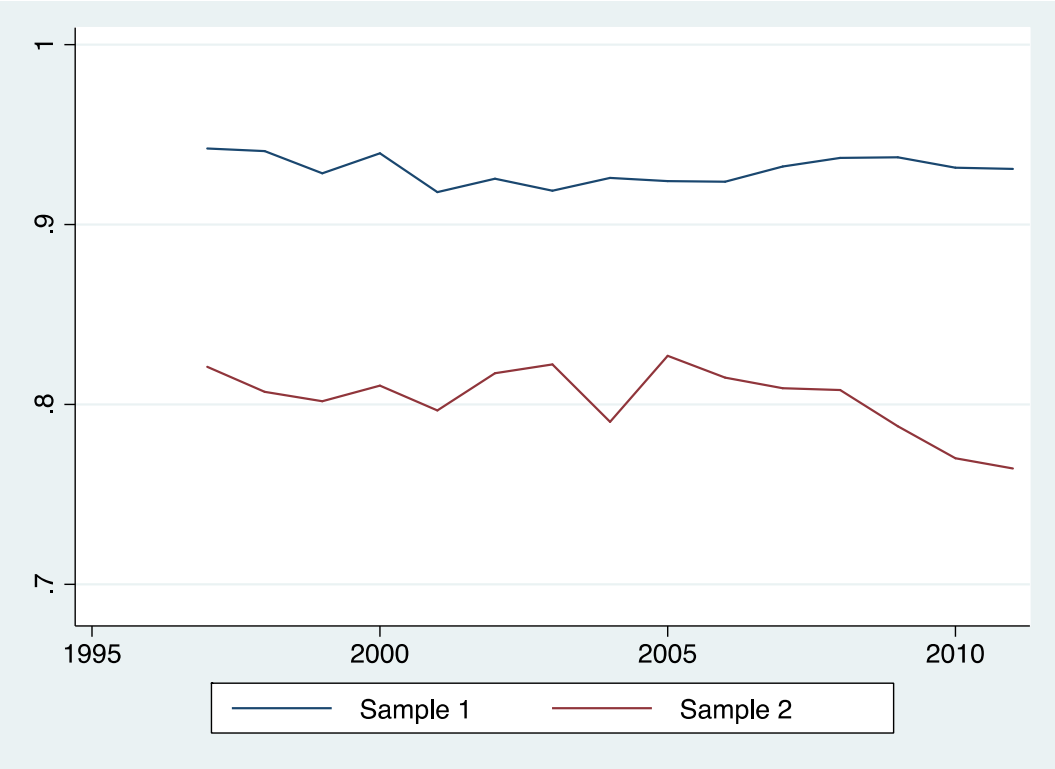


Figure 3-21: Comparative evolution of commercial efficiency
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

This analysis shows that the phenomena of σ– convergence observed during certain periods do not prevent the phenomenon of β– convergence of the less efficient scores of countries towards their state characterized by the benchmark of the most efficient. For sub-sample 1, it is difficult to determine the main source of the β–convergence of performance because all the efficiency indicators have a fairly low convergence speed (about 6%) and a fairly high half-life. The same notice can be made for countries of sub-sample 2, as the convergence speed is also low (6%) and the half-life is quite high for this category of countries. Results also show that, on average, the best performing countries at the beginning of the period remain the best during the whole period.

Implications for economic policies

As mentioned above, we used four indicators to assess performance of railway companies. These indicators include: productive efficiency, commercial efficiency, technical efficiency and finally total factor productivity change. Technical efficiency and productive efficiency were assessed using a production frontier, while commercial efficiency was assessed using a consumption frontier. In this context, production efficiency and technical efficiency measure the proportion of inputs that a company can reduce while keeping the production level unchanged, whereas commercial efficiency measures the proportion to which the company can increase its level of consumption. Thanks to these different values, we have been able to establish the matrices represented in figures 3-22 and 3-23.

Based on figure 3-22 (matrix with variables such as productive efficiency and commercial efficiency), countries such as Austria (AT), Czech Republic (CZ), Sweden (SE), Belgium (BE), Slovenia (SI), Germany (DE) and Denmark (DK) should focus on how to increase the number of passengers or the quantity of goods transported. However, countries such as Romania (RO), Slovakia (SK), Poland (PL), Bulgaria (BG), Portugal (PT), France (FR), Finland (FI) Hungary (HU) and Italy (IT) should focus on strategies to reduce excess inputs. Due to its position in this matrix, Spain (ES) must concentrate both on strategies for reducing excess inputs, but also on how to render the proposed rail services attractive.

The analysis of the matrix, whose variables are commercial efficiency and technical efficiency (see figure 3-23), enables to notice that countries such as the Czech Republic (CZ), Spain (ES) and Sweden must focus on strategies to reduce excess inputs, but also on how to render the rail services they offer more attractive. In the same vein, Austria (AT), Denmark (DK) and Slovenia (SI) must focus more on how to make the rail services they offer more attractive. Finally, in order to be efficient, countries such as Romania (RO), Bulgaria (BG), Germany (DE), Hungary (HU) and Slovakia (SK) need to concentrate more on strategies to reduce excess inputs.

As other indicators of performance of railway companies, we used total factor productivity change and its component namely productivity change or technical efficiency change, technical change and scale efficiency change. These indicators were calculated thank to the estimated parameters of input oriented distance function. Thus, we have noted TFP1, total factor productivity change calculated after estimating the productive efficiency frontier and TF3 change in total factors productivity calculated after the technical efficiency frontier.

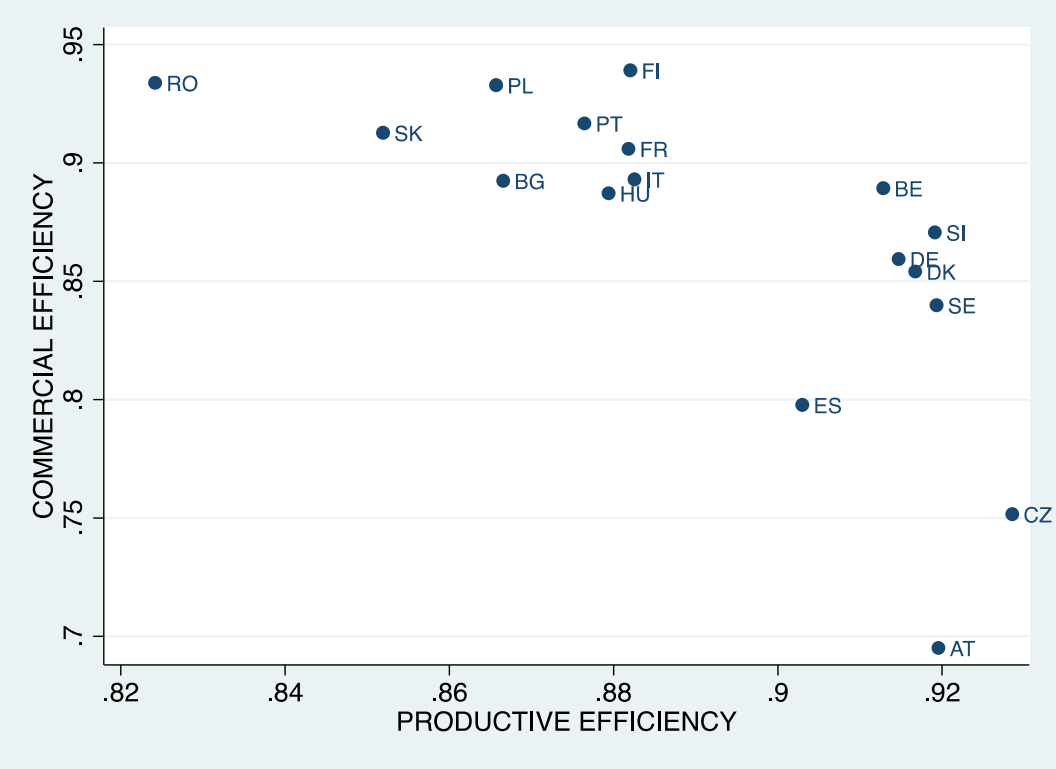


Figure 3-22: Matrix of performance, commercial efficiency and productive efficiency
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

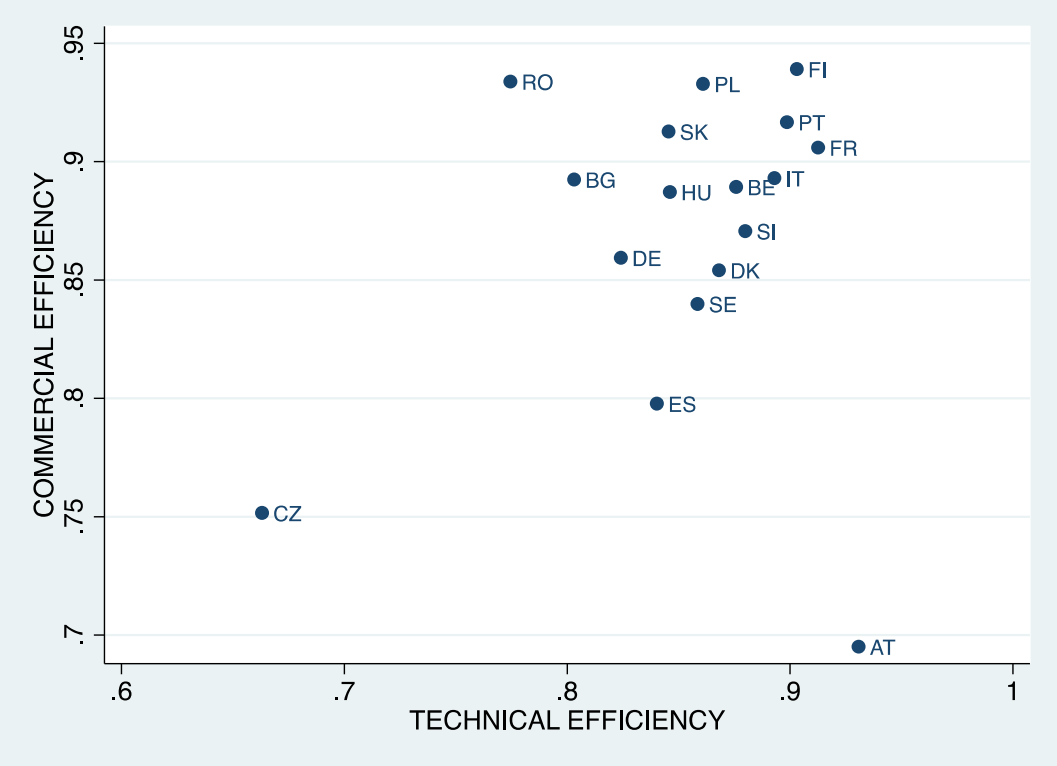


Figure 3-23: Matrix of performances, commercial efficiency and technical efficiency.
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

The performance matrix whose elements are technological change (TC1) and total factor productivity change (TFP1) is shown in figure 3-24. This figure shows a positive and linear trend between total factor productivity change (TF1) and technological change (TC1). So, in order to improve their performance, countries such as Denmark (DK), Slovenia (SI), Portugal (PT), Finland (FI), Sweden (SE), Bulgaria (BG), Spain (ES) should focus on technological innovation. The analysis of performances with variables TFP3 and TC3 (see appendix 3-8) gives the same results.

As shown in figure 3-25 and appendix 3-9, it is difficult to predict a stable relation between technical efficiency change and total factor productivity change. Nevertheless, to be more efficient, countries such as Sweden (SE), Slovenia (SI), Bulgaria (BG) and Finland (FI) must improve their technical or productive efficiency. In other words, these countries must seek ways and means to reduce surplus inputs.

The analysis of the matrix whose variables includes total factor productivity and scale efficiency change does not allow us to predict a stable relation between these two variables (see figure 3-26 and Appendix 3-11). However, this matrix shows that, except for Germany (DE), Austria (AT) and Belgium (BE), the other countries of the sample operate at inappropriate scales.

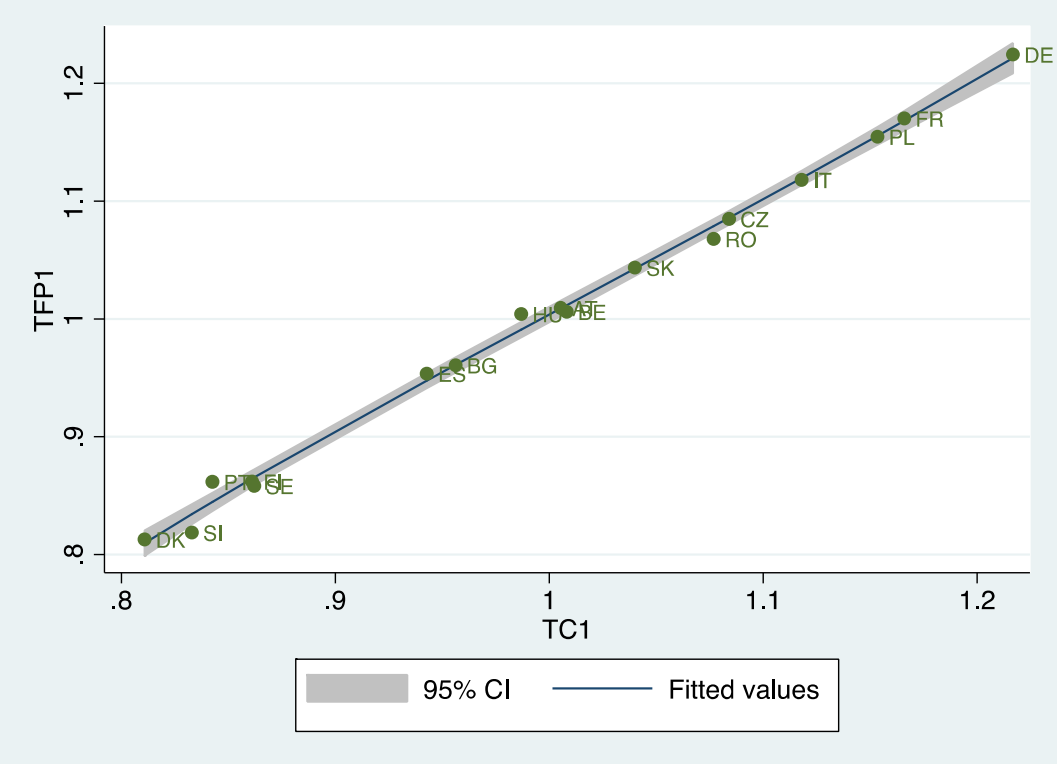


Figure 3-24: Matrix of the performances, TFP1 and TC1
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

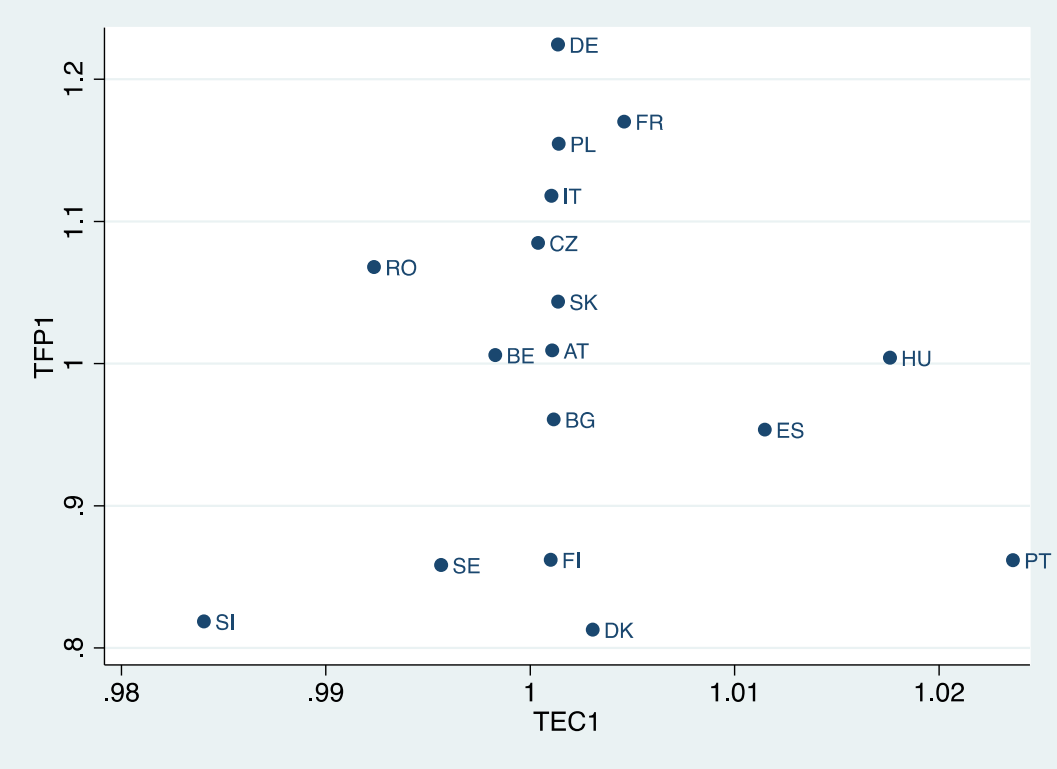


Figure 3-25: Matrices of performances, TFP1 and TEC1
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

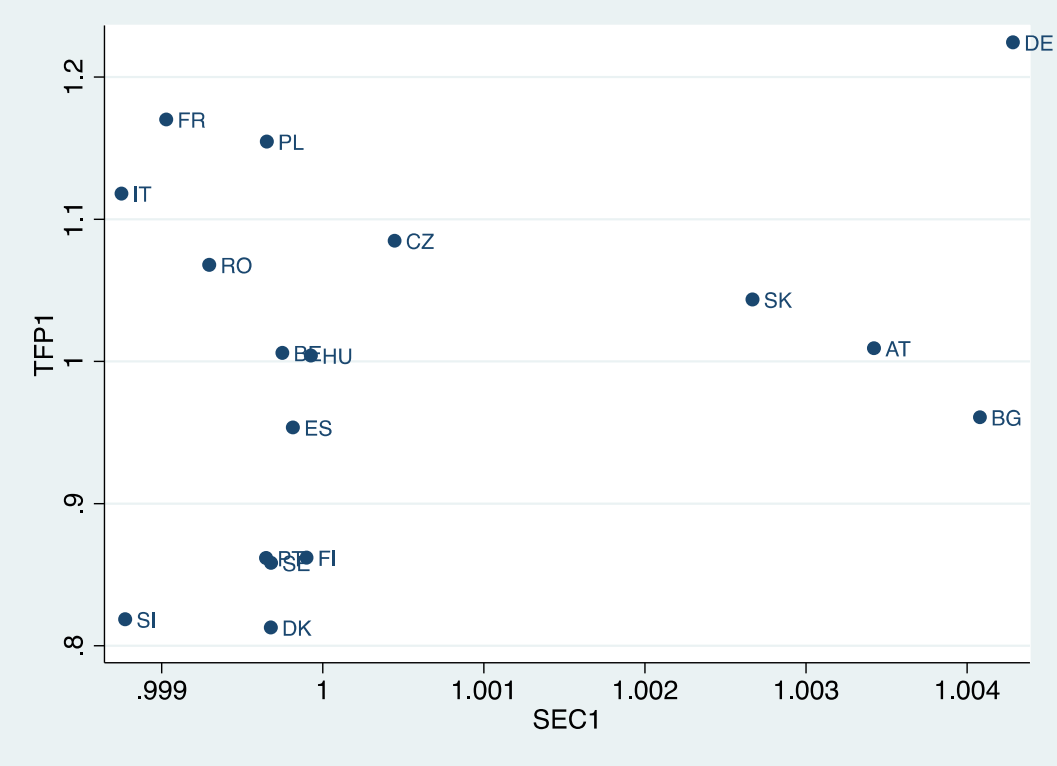


Figure 3-26: Matrix of the performances, TFP1 and SEC1
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and annual reports data

Conclusion of the third chapter

The purpose of this chapter was to evaluate, compare and explain the rail performances of European Union countries. To this end, four performance indicators were used: productive efficiency, which measures the ability of railways to transform inputs (number of locomotives, number of wagons, number of cars, length of tracks and the labour force) into outputs (the number of train km of passengers and the number of train km of goods). As a second measure of performance indicator, we used commercial efficiency. This indicator measures the ability of railways to transform the number of train kilometres of passengers and the number of train kilometres of freight into the number of passenger kilometres and number of ton kilometres, respectively. Technical efficiency which measures the ability of railways to transform production inputs (number of locomotive, number of wagons, number of cars, length of tracks and labour force) into passenger kilometres and into ton km. Finally, as fourth indicator of performance measurement, we have selected total factor productivity and its main determinants, namely, the technological change, productive efficiency change or technical efficiency change, and finally scale efficiency change.

For this, we simultaneously estimated three parametric and stochastic frontiers, namely, two input-oriented distance function and one output-oriented distance function. Regardless of the frontier, efficiency is given by the inverse of the distance from that frontier this is the invers on distance function. Parameters estimated of distance function allowed us to calculate productivity change and its components.

This methodology was applied to a panel of 17 European Union countries observed between 1997 and 2011. In order to simplify the presentation of results and facilitate the comparative analysis, we divided our sample into sub-samples. The first sub-sample consists of the countries of Western Europe (Austria, Germany, Belgium and France), the countries of Eastern Europe (Bulgaria, Hungary, Poland, Czech Republic, Slovakia and Romania), the countries of southern Europe (Spain, Italy, Portugal and Slovenia), and the countries of Northern Europe (Denmark, Finland and Sweden). This panel has a double advantage since it is quite heterogeneous both in terms of practices and in the environment in which railway companies operate.

For the entire sample, the annual average efficiency scores for productive efficiency, commercial efficiency and technical efficiency were 89.08%, 86.90% and 85.16%, respectively. These data show, on the one hand, that on average, in the railway industry,

inputs are used in an incorrect ratio and, on the other hand, there is a mismatch between supply and demand. Similarly, the annual average of productivity gains is 0.6% (1.4%), which shows that rail companies are suffering from a lack of productivity.

We also evaluated and compared efficacy scores per region. Results show that countries of Western Europe are the most performing as this region has achieved the average annual productive efficiency scores of 90.72%, commercial efficiency of 83.74%, and technical efficiency of 88.58%. Looking at total factor productivity this region is also considered to be the best, with an average of 10.25% (11.75%) of productivity gains. In the same vein, the average annual performances achieved by the Eastern European countries are 86.94% for productive efficiency, 88.51% for commercial efficiency, 79.89% for technical efficiency and 5.27% (4.87%) for productivity gains. For the Southern European countries, we can note 89.53% for productive efficiency, 86.95% for commercial efficiency, 87.79% for technical efficiency and -6.20% (-4.07%) for productivity gains. With 90.60% of productive efficiency, 87.77% of commercial efficiency, 87.65% of technical efficiency and -15.57% (-11.99%) of productivity gains, the Northern region is considered as the least efficient.

The Kruskal-Wallis population comparison test was statistically significant at the 5% threshold for all regions of the sample. This means that performances are different from one region to another. Therefore, the western region can be said to be the most efficient.

Another important result is that the technological change is the main component or determinant of productivity gains. In fact, results show positive and linear correlation between total productivity change and technological change. This result has also been confirmed by the Spearman correlation coefficient, which was positive and significant at the 5% threshold.

In term of total factor productivity change, Germany is the most efficient country, as the country achieved +22.45% (+ 23.37%) of productivity gains. Germany is followed by France, which recorded +17.02% (+18.14%) of productivity gains, Poland (+15.47%/+ 16.98%), Italy (+11.81%/+14.70%) and the Czech Republic with +8.49%/ +7.43%. The analysis of technological change shows that Germany is the country whose technological progress contributes the most to the realization of productivity gains. As a matter of fact, the change in technological progess is estimated at +21.68% (+23.71%) in Germany, +16.60% (+17.55%) in France, +15.34%) in Poland, +11.8% (+13.40%) in Italy and +8.41% (+9.89%) in the Czech Republic.

This analysis also shows that for a given country, the performance of railways is

strongly correlated with the country economic situation. In general, the introduction of innovative production and marketing techniques proves to be necessary and important for any railway company with the objective to increase its performance in order to remain viable in a competitive market.

The β– convergence test was statistically significant for the whole sample and for both groups, with a relatively low catch-up speed and a fairly large half-life. This means that scores of the different efficiencies converge with a rather slow speed towards their equilibrium state formed by the benchmark. In contrast, movements of σ–convergence and σ-divergence are also observed.

Chapter-4The impact of competition and liberalisation on railways performances

Introduction

For more than twenty years, European railway transportation has been undergoing profound transformation with the aim, on the one hand, to create a single European railway zone and on the other hand to improve its functioning and increase its modal share. The desire to develop railways, which have a low impact on the environment compared to other means of transportation such as road or air, is hampered by obstacles such as the very high cost of the railway system for the Community and public finances. As pointed out by Crozet (2011), the French railway system has problems; its productivity, its competitiveness and also the quality of its cost are facing challenges.

The profound changes in railway transportation began with Directives nº 91/440 of 29 July 1991. A series of texts were put together in what the European Commission called Railway Packages.

Adopted on 26 March 2001, the railway package provides opening for competition to international freight, while the second package (adopted in April 2004) provides a full opening for freight competition. Proposed in 2004 and adopted in 2007, the third railway package provides an opening to competition for international transportation of passenger. In order to complete the creation of the integrated railway zone, the Commission proposed the fourth package in January 2013; one of its objectives was to open national transportation of passengers to competition. The European Parliament has just validated this fourth package.

Since the adoption of these various reforms, the question of the impact of the liberalisation of on the performance of railway companies has attracted the attention of several researchers and professionals. Using various methods, they have tried to assess the potential effects of the liberalisation on companies' performances.

From a theoretical point of view, the approach is to compare the advantages and disadvantages of liberalisation. Among the authors who have used this approach are Thompson (1997), Nash (1997) and Ksoll (2004). From an empirical point of view, the methodology is generally based on a two-step approach, the first of which is devoted to the estimation of performance indicators, while the second is devoted to the analysis of the

correlation between liberalisation and the performance index. Among the authors who used this approach are: Cantos and al (2000), Driessen and al (2006), Growitsch and Wetzel (2007), Cantos and al (2010) And Kleinová (2016).

This chapter uses a limited dependent variables model to test the potential correlation between railway performance and the degree of railway liberalisation. As performance indicators we had, productive efficiency, commercial efficiency, technical efficiency and productivity gains. Two indicators assess the degree of liberalisation. The first is an upstream indicator that measures the intensity of legal or practical barriers at the entry of the market while the second is a downstream indicator that measures the results of the competition dynamics based on the data of market shares and the evolution of railway traffic.

To do this, the chapter will be structured as follows: In the first section we will present the current state of the railway liberalisation process in European Union's. Our concern is to see how the European texts have been transposed into national law and to what extent the countries have gone in terms of liberalisation. The literature review on the subject will be presented in the second section while the third section will be devoted to the presentation of the model and the data that we will use to assess the impact of liberalisation on the performance of the railways. Finally, in a fourth section, we will analyse and interpret the results.

4.1 The process of liberalising railway activities: a current state

4.1.1 What do we mean by liberalisation of railway activities?

In economics, liberalisation is the transformation of an economic sector whose purpose is to allow economic activity to be carried out by different economic agents, private or public. In other words, the liberalisation of an economic sector consists in making it free by putting an end to the monopoly of an enterprise (public or private). When applied to the railway industry, liberalisation is the result of the arrival of new railway operators to compete with the historical companies. The arrival of new operators is supposed to stimulate competition to develop innovation, improve quality of services and reduce prices.

In the railway transport sector, liberalisation can take two forms: competition in the market and competition for the market.

- Competition in the market is when the network is open to competition and several companies (national and private companies) can have train paths, traffic rights on the same network. In this form of competition, the consumer has a choice between several operators, so competition is visible for the latter.
- There is competition for the market when competition is open to obtain a market but once the market has been won, the company that obtained it is the only one present in this market. In practice, the competent authority makes a call for tender on a given service area and selects the operator. Unlike competition on the market, the competent authority has the choice but not the consumer. The competition is not really visible to the latter.

It is important to note that these two forms of competition are not mutually exclusive and may coexist, depending on the market segment, but not on the same routes. Thus, liberalisation will be possible for regional transport through competition for the market, while competition on the market will exist for freight traffic and main line passengers, knowing that physically, the different trains sometimes use the same lines (Hubert HANENEL 2009). According to the European Commission, opening up to competition would be a necessary condition for revitalising the European railway market. If, in theory, liberalisation entails competition, in practice, and especially in the railway industry, this is not always the case.

4.1.2 How to quantify the degree of liberalisation

To assess the effects of liberalisation, it is necessary to quantify the degree of openness to competition [Crozet (2016)]. This is the role of empirical studies on the subject. In empirical studies on analysing the effects of liberalisation on railway performance, liberalisation is usually represented by a binary variable that takes the value 1, the year for which the country opted for liberalisation (date of openness to competition for the market or date of openness to competition on the market), and 0 otherwise. While this approach seems simple and basic, it is limited in the sense that it does not fully account for the degree of railway liberalisation.

Since 2002, the consulting firm Global IBM business Services in association with professor Christian Kirchner publishes for every country two indicators (LIB and COM) which allow to report the degree of liberalization and opening in the competition:

- The LIB index, measures the intensity of barriers to entry. In other word, compare the status of the relative degree of market opening in the European rail transport market within the European Union. It takes into account the legal and de facto barriers to market access from perspective on an external railway undertaking seeking access. Thus, it consists of two sub-indexes LEX and ACCESS. The LEX sub-index (law in book) assesses the legal requirements for entering a market and considers whether or not there exists an independent regulatory authority. Its main determinants are therefore the organisation of the incumbent operator (degree of separation between the infrastructure and the operator of transport services, the degree of separation between service activities and the degree of independence from the State), the level of regulation of access to the market and the powers of the regulatory authority. The ACCESS sub-index (law in action) assesses the practical reality of barriers to entry from the point of view of a new operator. Its determinants are the level of operational barriers (network access conditions, pricing structure), the market share available to new entrants and the existence of administrative barriers (rolling stock approvals, operating permits and safety certificate).
- The COM variable can be considered as a downstream index measuring the competitive dynamics in the Member States. Its main determinants are: the market shares of new entrants, the number of external operators to the incumbent operator and the evolution of the modal share of freight. The COM index can also be seen as an indicator of the degree of intra modal competition.

4.1.3 Evolution of the liberalization process in Europe.

The project to liberalize railway activities in the European Union started with directive 91/440. It recommends the following to Member States:

- A legal and accounting separation of the infrastructure and the operator,
- An independent management of railway companies
- Financial consolidation

– ;:Free access of new operating companies to infrastructure.

This directive is therefore the pioneer and founder of a vast project aimed at creating a single railway market in Europe. It is complemented by the adoption of three railway packages, in February 2001 (First Railway Package), January 2002 (Second Railway Package) and March 2004 (Third Railway Package).

The first railway package, known as the ***"Railway Infrastructure Package"***, consists of three directives, which were to be transposed into national law by 15 March 2003. This package sets up mechanisms to promote a better integration of the railway market. Directive 2001/12 /EC lays down the principle of equitable access of railway companies to the trans-European railway freight network, which should be extended to all routes from 2008. Directive 2001/13/EC defines participation requirements of Licenses for the operation of rail freight services on the trans-European route. Finally, Directive 2001/14/EC organises the allocation of railway capacity, train path pricing and certification in terms of security.

Proposed on 23 January and adopted on 16 March 2002, the second railway package ***(Towards an Integrated Railway Area)*** is composed of five Directives, the purpose of which is the creation of an integrated railway area. This package is aimed at:

- Developing a common approach to railway safety
- Supplementing the fundamental principles of interoperability
- Creating a European Railway Agency
- Opening to competition all international freight transport
- Opening Membership into the organisation of international railway transport (OTIF).

Proposed in 2004 and adopted in 2007, the third railway package had as aim the liberalisation of railway transportation of passenger. This liberalisation, as provided for in Directive 2007/58 / EC, begins the opening to competition of international transportation of passenger latest in 2010. International service is doubled by a cabotage option (Article 1 (8). This Directive is surrounded by other texts for the certification of drivers (Directive 2007/59 / EC), passengers' rights (Regulation No 1371/2007). Regulation 1370/2007 (the so-called "OSP", Public Service Obligation) tends to moderate developments towards liberalisation. It establishes a legal framework for granting compensation and/or exclusive rights for public service contracts to be concluded in the field of transport.

4.1.4 The process of liberalization of railway activities in the European Union: At what level are Member States?

4.1.4.1 The structure of railway companies

It is important to note that liberalisation is made up of two components, one that is openness to competition and the other which is the establishment of a regulatory system that replaces dirigisme (a term that appears after 1930s to designate a system in which a government exercises the power of decision or guidance over the economy or society in order to organise it for certain purposes). Opening up to competition when there is a monopoly associated with an infrastructure network is achieved by separating network management from network operations with the implementation of network access arrangements. Two questions arise from this definition: How are the railway lines of European countries organised? Is the opening up to competition of railway services effective in these countries?

From an organisational point of view, Directive 91/440 / EEC does not impose a complete separation between the infrastructure manager and the operator. What is required is an accounting separation between these two entities, the purpose of which is to limit the monopoly by the infrastructure manager who becomes the sole entity in charge of allocating train paths and fixing the amount of rental charges for the use of the infrastructure. This Community obligation has been respected by all Member States, but in various forms. There are three general forms of separation

- Organisational separation. In this model, separation is materialised by the creation of autonomous units. It generally takes the form of subsidiaries within a holding company, which indirectly hold the infrastructure manager. This is called an integrated model. After 1991, this model was chosen in the following countries: Germany, Austria, Belgium, Estonia, Hungary, Ireland, Italy, Lithuania, Luxembourg, Poland and Slovenia. It is important to note that since 2015, France is one of the countries that have opted for an integrated model, being that since that date, the new infrastructure manager (SNCF-Network) is a subsidiary of the SNCF group.
- Institutional separation: In this form of organisation, separation is legally materialised by the creation of two independent entities, although there may be a possible joint

control of the State. This is called a complete separation between the two entities. Countries, which have opted for this form of organisation, are: Bulgaria, Denmark, Spain, Finland, Netherlands, Norway, Portugal, Romania, United Kingdom, Sweden, and Slovakia.

– The hybrid model: In this form of organisation, the operator and the infrastructure manager are two different entities, but the latter generally makes use of the incumbent's service to perform certain tasks on which he has the exclusive responsibility. Among the countries that have opted for this form of organisation are the Czech Republic and France (from 1997 to 2014).

4.1.4.2 The degree of opening up of the railway market to competition

In economics, competition refers to the simultaneous presence of several actors, rivals in the same market. When applied to the railway sector, competition would mean the presence of several rail transport operators on the same market. In Europe, this openness is carried out within the framework of the Community texts adopted by the European Commission and transposed into national law by the Member States. Nevertheless, it is important to point out that the transposition into national law of European texts and the definition of the precise modalities of opening up to competition are the responsibility of each Member State.

Before presenting the current state of the degree of opening up of market to competition in the European Union countries, it is important to note that the opening up of the passenger transport sector to competition is different from that of the freight.

According to European legislation, liberalisation of international services for the transportation of goods was provided in the first Railway Package (Directive 2001/12 / EC, 2001/13 / EC and 2001/14 / EC). The transposition into national law of these Directives varies from one State to another.

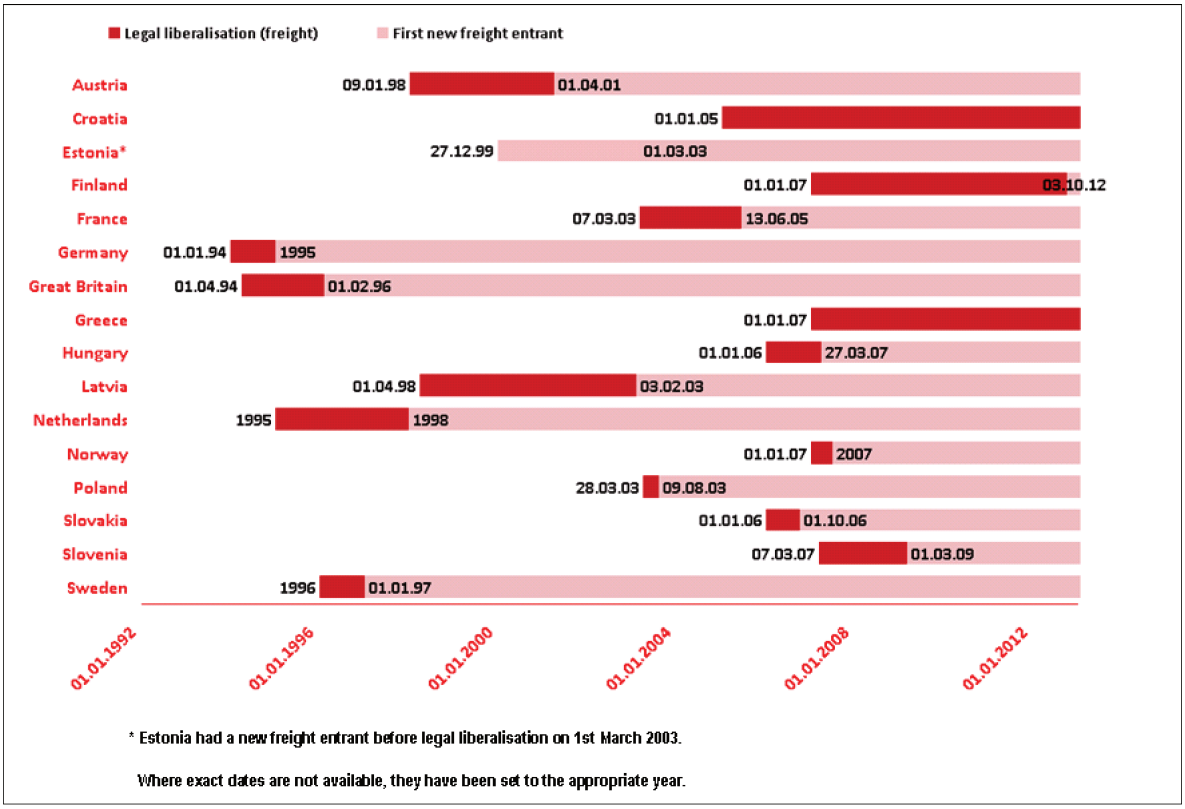


Figure 4-1: Date of liberalisation of the European railway freight
Sources Annual Market Monitoring report, IRG-rail (2013)

As shown in figure 4.1, railway freight liberalisation was effective in Germany and in the United Kingdom long before the first railway package in the mid-1990s. According to this figure, Greece and Croatia are the countries where the liberalisation of freight transport is put in law but in reality there are no new entrants. Estonia makes a difference, because in this country free access has been active since 1999, whereas it has been put in the law only since 2003. Figure 4.1 also shows that there is a few years gap between the transposition into national law of European directives and the physical presence of new companies. In Austria, for example, almost three years have elapsed between the date of transposition into national law (09/01/1998) and the date of physical presence of new companies (01/04/01). This gap is estimated at over two years for France, less than one year for Germany, Poland, Sweden, Slovakia and almost two years for the United Kingdom.

Within passengers' activities, there is international and national transport. Competition within international passenger transport only began by January 2010. For national passenger transport, which accounts for about 94% of all passengers-km (COM 2014), the fourth railway package has just decided that the starting date is 2020 for the main lines and 2023 for the OSP service types. As shown in figure 4-2, the liberalisation of passenger transport

(especially international passenger transport) is effective in some countries. It is equally noticed that there is a discrepancy between the date of arrival of new operators and the date on which free access is included in the Act. In Germany and the United Kingdom, free access has been entrenched in legislation since 1994, although it became applicable only 1997 and 1996 respectively. For countries such as Slovenia, Croatia, Finland and Greece, free access is included in legislation, yet it is not applicable. In France and Sweden, free access has been effective since 2011, that is, one year after the adoption of the texts. The other countries did not wait for the European Union directive to open the market to competition.

According to the report published by the European Commission in 2014 (COM 2014), in 2010 about 40% of the market for national passenger transport services of the European Union was made available to new operators. The Commission also notes that only two Member States (Sweden and the United Kingdom) have fully opened up their commercial services and services within the public service to competition (see figure 4 3).

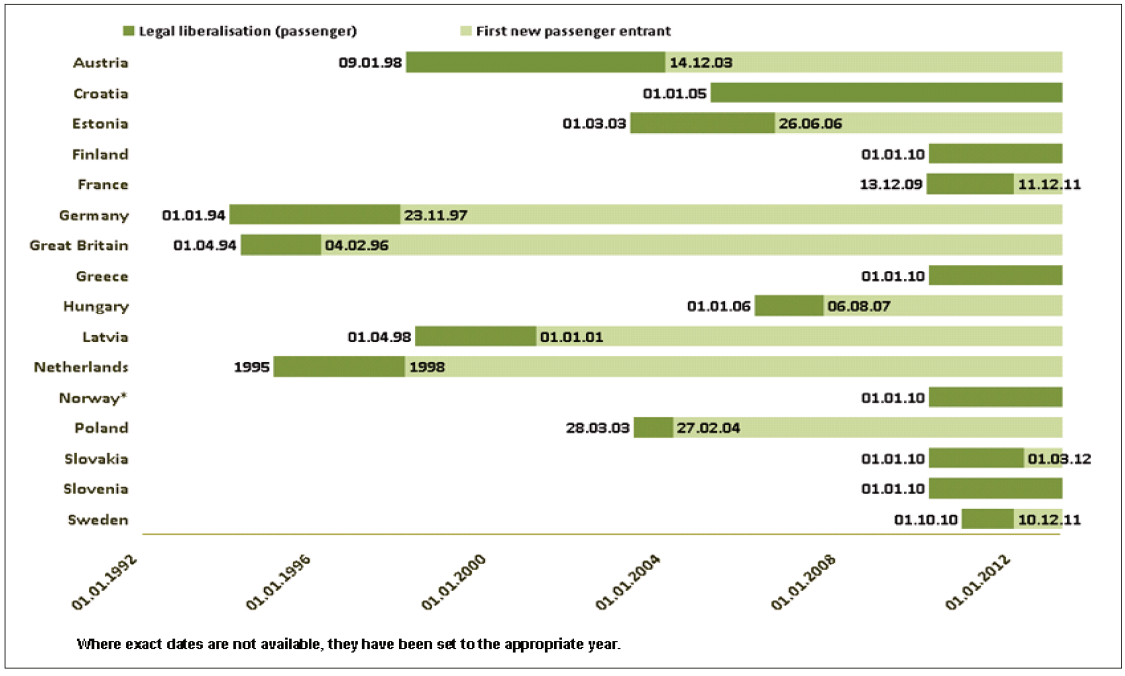


Figure 4-2: Liberalisation of passenger railway transport in Europe
Sources Annual Market Monitoring report, IRG-rail (2013)

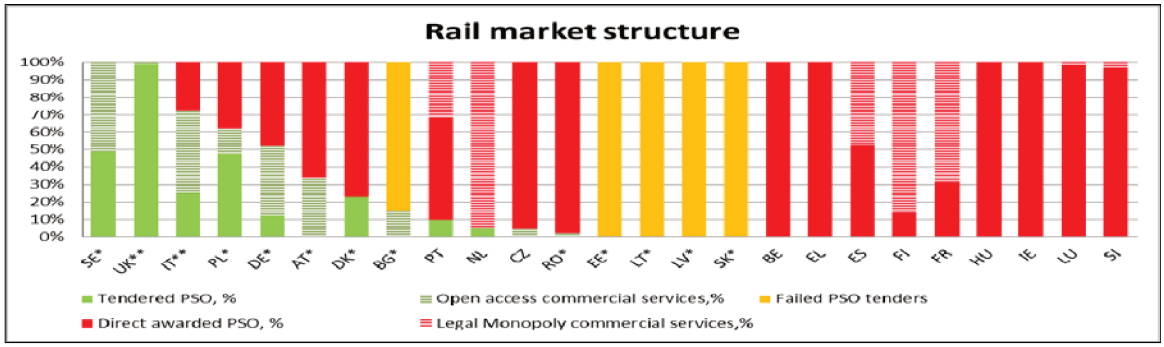


Figure 4-3: Structure of the railway market
Source: RMMS questionnaires, impact assessment of the fourth railway package, CER (2010), authors' estimates.

In figure 4-3, the states marked with an asterisk are those that have opened their markets in a way that allows open-access commercial services to coexist with directly attributed public service contracts. In Estonia, Lithuania, Latvia and Slovakia, public service contracts are directly allocated to the incumbent operator, so there is no real tender for all railway services.

The number of licenses granted and the number of companies operating on a market equally helps to measure the degree of liberalization of railway activities. With 417 licenses issued in 2012 (see figure 4-4), Germany can be ranked first in the liberalization of railway activities. It is followed by Poland, which in 2012 granted 152 licenses. The third place of this ranking is shared by the United Kingdom and Czech Republic, which granted 80 licenses. At the bottom of this ranking are Finland, Greece and Luxembourg. Generally, in States where the incumbent operator still has a monopoly on domestic passenger services, the number of licenses granted is low.

Figure 4-5 shows the evolution between 2009 and 2011 of the number of railway companies operating in each state. Germany appears at the top of the list with an annual average of 315 companies operating between 2009 and 2011. Poland comes second with an average of 67 companies operating in 2011, followed by the United Kingdom (35), Austria (27), Sweden (26) and the Netherlands (25). Even though France is not among the best (15th in this ranking), the number of companies operating is increasing in this country.

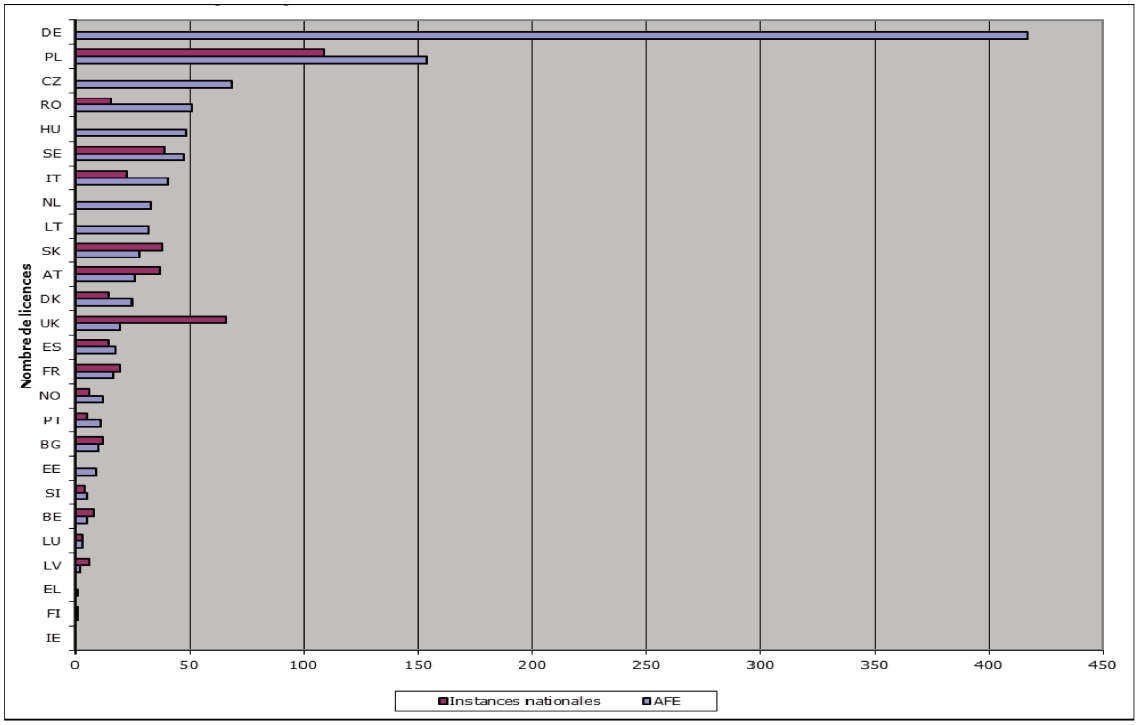


Figure 4-4 : Licensing as notified by the AFE and the national authorities (2012)
Sources: European Railway Agency (ERADIS database), RMMS questionnaires complemented by Member States - Appendix 16 of the Staff Working Document, SWD Commission (2014) 186.

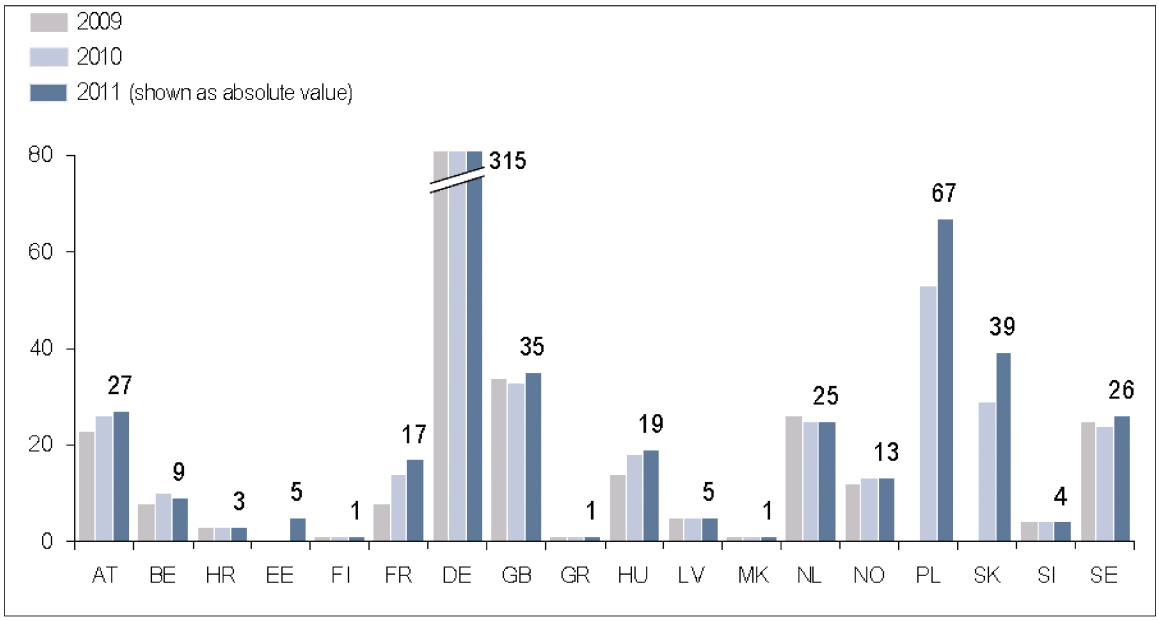


Figure 4-5 : Number of railway companies operating
Sources Annual Market Monitoring report, IRG-rail (2013

4.2 The effects of the liberalisation on railway performance: literature review

According to Crozet (2016), to assess the effects of liberalisation, it is necessary to quantify the degree of openness to competition. It is within this framework that several empirical studies with the aim of analysing the effects of liberalisation on performance first tried to quantify the degree of liberalisation. As mentioned earlier, liberalisation can be seen in several forms, among which, free market access, company structure (whether or not there is a vertically integrated structure) and the number of companies operating on a market.

4.2.1 The impact of vertical separation and free access on the performance of railway companies

Should the activities of the infrastructure manager be separated from those of the transport operator? This question has been the subject of debate both on the national scene and internationally. The answer to this question helps to classify the authors into three categories. The first category includes all authors whose studies show that the separation of the infrastructure manager from the operator is an efficient organisation. The second group is made up of all those who believe that vertical separation leads to an increase in the cost of production, they are therefore opposed to the idea that it is an efficient organisation. Finally, the third category is made up of authors who are neutral on the subject. They believe that the decision to separate the infrastructure manager should be based on the economic and environmental characteristics of the country in which the problem arises.

4.2.1.1 Some disadvantages of a vertically separated structure

Among the quantitative and qualitative studies that show that vertical separation is not an efficient organisation, we can cite: Ksoll (2004); Mizutani and Nakamura (2004); Cantos Sánchez (2001); Bitzan (2003); Jensen and Stelling (2007); Drew and Nash (2011); Ivaldi and McCullough (2004); Berger (2012); Cantos, Pastor, and Serrano (2010) and (Pittman 2001).

For Ksoll (2004), there are several reasons for choosing a vertically integrated structure.

– In a vertically integrated structure, the coordination and management of conflicts are easy since the interfaces are less complex between the two entities.
– If there is integration between the infrastructure manager and the transport operator, the latter could encourage the manager to invest, and this will help to solve the problems of capacity, to improve the quality of service, safety and innovation.
– Vertical integration helps to increase productivity.
– A vertically integrated structure reduces costs and more precisely transaction costs.

Despite these advantages, the author also points out that the vertically integrated structure also has disadvantages. A vertically integrated structure does not encourage the regulation of the monopoly of the infrastructure and it is not an incentive for performance.

In a study of the impact of vertical separation on railway performance and particularly on the performance of the freight sector, Pittman (2001) shows that there are three main reasons why vertical separation is problematic for transport activities and in particular for the freight business. To this author, the freight transport business has a very significant share of the costs in the total operating cost of the company. It is this high cost of infrastructure, particularly freight, which makes it difficult to implement a vertically separated structure in the railway industry when compared to other sectors such as electricity, natural gas and telecommunications where separation has been very successful (Newbery 1999). The second reason advanced by this author is that economies of scale are quite important in the railway industry. Finally, the third reason why the author is in support of a vertically integrated structure is that this structure helps to generate income when compared to a vertically separated structure. It is worth noting that these results are based on purely theoretical analyses and also on the experiences of liberalisation in other network industries like electricity, natural gas and telecommunication.

Using an empirical approach to assessing the effects of vertical separation on the performance of freight railway companies, Ivaldi and McCullough (2004) show that in the US, the separation of the infrastructure manager from the transport operator has led to a 20% to 40% increase in the total cost of production compared to a vertically integrated structure. This study also shows that a separation coupled with openness to competition (that is to say the existence of several companies in a market) leads to a 70% increase in the total operating cost. Finally, as another result, this study shows that separation leads to a reduction in the effectiveness of coordination between the various companies involved in the market. To obtain these different results, the authors used a methodology based on the estimation of a

cost function. These authors compare the cost efficiency of three forms of organisation: a vertical integration, a vertical separation and a vertical separation coupled with openness to competition.

In a comparative analysis of railway performance, Mizutani and Nakamura (2004) show that vertical separation is unreasonable, especially if it is to be applied to the Japanese rail system as it could lead to an increase in operating costs. The existence of large economies of scope between the infrastructure manager and the transport operator also confirms the idea that vertical separation is unreasonable. To obtain these results, the authors used partial productivity indicators to compare the performances of the Swedish and English railway companies. The indicators used cover the areas of production (product volume, staff productivity and expenditure), the commercial aspect (demand and revenue) and security.

For Cantos Sánchez (2001), the decision whether to separate the infrastructure manager or not requires an upstream assessment of the relationship between the costs generated by the transport activity and those of the infrastructure. To compare the costs of these two entities, the author estimates a translogarithmic cost function. The advantage of this approach lies in the fact that the estimation of a cost function is appropriate to evaluate the performance of companies that use multiple inputs to produce multiple outputs. Two results emerge from this study: The first one indicates that there is a complementarity between the costs generated through the transportation of goods and the infrastructure. The second result shows that there is a substitution between the costs generated through the passenger transport activity and the costs of the infrastructure. It therefore recommends coordination between transport and infrastructure activities.

The article proposed by Cantos, Pastor, and Serrano (2010) uses a two-step approach to assess the effects of vertical separation on the technical efficiency of railway companies. In a first step, the authors use parametric and nonparametric methods to estimate the technical efficiency scores of each railway company. In a second step, they use a TOBIT model to estimate the main determinants of technical efficiency, particularly the impact of vertical separation. This study shows that, no matter the method used to estimate the efficiency scores, there is no correlation between the level of technical efficiency and vertical separation.

Bitzan (2003) examines the costs generated through the opening up of freight services to competition and those generated through the separation between the infrastructure manager and the railway operator. To do this, he estimates a cost function and tests the assumption of cost sub-additivity, whereby the cost of production of an integrated company is lower than the

cost of production of a vertically separated company. This study shows that preference is given to a vertically integrated system over a vertically separated system since the separation between infrastructure management and the management of transport operations leads to an increase in operating costs. As second result, the author shows that putting several companies in competition on the same network increases production costs.

To evaluate the effects of deregulation on the performance of Swedish railway companies, Jensen and Stelling (2007) use an econometric approach based on the estimation of a cost function. Just as the previous authors, his analysis shows that the separation between infrastructure management and the transport operation leads to an increase in cost. On the contrary, this study shows that openness to competition leads to a reduction in operating costs, a result that is in line with neoclassical theory on the effects of openness to competition.

According to the European Commission, to open up to competition, the separation between infrastructure manager and transport operator is necessary because it will help to avoid any discriminatory behaviour and thus enable competition to be effective and perfect. For the European Commission, there exists a relationship between vertical separation and the degree of openness to competition.

To test the significance of this relationship, the article proposed by Drew and Nash (2011) compares the performance of vertically integrated systems with those of vertically separated systems. To do this, they use a panel of 15 European Union countries observed between 1998 and 2008, which they subdivide into two sub-samples. The first is made up of countries that have opted for a vertically integrated structure while the second is made up of countries that have opted for a vertically separated structure. The performances compared are the degree of openness to competition represented by the number of licenses, the market share of each operator and the growth rates of traffic. This study shows that there is no correlation between vertical separation and the growth rate of freight traffic. For these authors, the choice between an organisational model does not determine the degree of openness to competition or the growth rate of rail freight traffic.

To determine the optimal organisation model for railway companies, Berger (2012) compared the performance of five countries, namely Canada, the United States, Japan, China and Russia. The factors assessed are: traffic, the level of investment, the level of efficiency and quality of service offered. This study shows that:

- The choice of a vertically integrated structure has enabled each country to reduce its cost of production.
- When interviewed, managers of the best performing railway companies in these countries said that the integrated structure enabled them to improve their performance

All these results brought together enabled the author to conclude that the separation of infrastructure management from transport operations is undesirable.

4.2.1.2 Some defenders of a vertically separated structure

With various and varied methods, several studies refute the idea that a vertically integrated structure is preferable to a vertically separated structure. These authors are thus considered defenders of a vertical separation. They include: Pedro et al (2008); World Bank (2011); ECMT (2004); Kim and Kim (2001).

To answer the question of whether to separate the activities of the infrastructure manager with those of the trains operator or not, the article of P. Sanchez et al. (2008) uses a two-step approach. In the first step, the authors used the Malmquist productivity index to evaluate the total factor productivity change of a panel of 16 European railway systems observed between 1985 and 2005. In the second step, the authors used a TOBIT[2] model to analyse the main determinants of total factor productivity change, particularly the impact of vertical separation on productivity gains. This study shows that, in general, the introduction of the reforms has helped to increase the level of technical efficiency of the railway companies. Thus the best performing countries are those that have opted for a vertically separated structure.

In a report published by the World Bank in 2011 (World Bank 2011), the Bank's researchers used partial productivity indicators to compare the performances of railway companies in Southern Europe, including Turkey. The indicators selected for this purpose cover three areas: production (passenger and freight traffic), operation (assessed by total traffic density, density of freight traffic, density of passenger traffic, share Of total freight, total productivity of inputs) and finance sector (the ratio of total cost to total product, the ratio of commercial income to operating costs, the share of wages in operating costs, Share of wages in operating income, average wage per employee, amount of subsidies per unit of traffic). The analysis proposed by these researchers show that the separation between

infrastructure management and transport operations improves the operational efficiency of railway companies.

In a report published by the European Conference of Ministers of Transport in 2004 [ECMT (2004)], the authors show that in Russia it is advisable to separate the activities of the infrastructure manager from those of the train's operator. This separation would lead to transparency in the management of railway activities. On the other hand, if this separation appears impossible, the authors recommend at least an accounting separation between these two entities.

With the help of a methodology based on the estimation of a cost frontier, the article proposed by Kim and Kim (2001) shows that the total cost of a vertically separated system is 3.6% lower than the cost of a vertically integrated system. These authors also recommend a vertically separated structure.

4.2.1.3 Some neutral studies on the subject

The third category includes all authors who believe that the decision on whether or not to opt for a vertically separated structure should be based on the economic characteristics of the country in which the question is being asked. Among these authors are: Mizutani and Shoji (2004); Van de Velde et al. (2012); Asmild et al. (2009); Growitsch and Wetzel (2007); Mizutani and Uranishi (2012); Matsushima and Mizutani (2011) and SCI-Verkehr GmbH (2012).

The article published by Mizutani and Shoji (2004) uses a methodology based on a cost function estimation to assess the impact of vertical separation on the maintenance costs of the infrastructure. These authors compare the costs of maintaining the infrastructure of a vertically separated system with those of a vertically integrated system. They assume that the cost of the infrastructure is related to the price of inputs and the level of production. This methodology has been applied to a sample of 76 private Japanese railways. As main result, the study shows that there is no significant difference between the maintenance cost of the infrastructure of a vertically separated system and that of a vertically integrated system.

In the EVS-rail report to the European Commission of Railway Companies and Infrastructure (CER) in November 2012, Van de Velde et al. (2012) assessed the impact of vertical separation on cost, on the modal share of railway companies, on public subsidies and on the degree of openness to competition. To get to this, the authors used qualitative and

empirical analyses. This report shows that considering the changing market and intermodal competition, there is no evidence that a vertically separated model is superior to an integrated model.

To assess the impact of railway reforms on the productive and economic performance of railway companies, the article published by Asmild et al. (2009) uses a multidirectional efficiency model. In this approach, the level of inefficiency is determined through a single variable and not considering all the variables. In other words, the level of inefficiency is determined by the excess proportion of an input that has been used. As controls variables, the authors used the cost of raw materials and the cost of labour, which enabled them to distinguish inefficiency as a result of the cost of raw materials and the inefficiency as a result of the cost of labour. This methodology was applied to a panel of 23 railway companies observed between 1995 and 2001. The effects tested are: accounting separation, complete separation, the introduction of a passenger transport franchise system and the degree of openness of the freight sector to competition. The main result of the study is that the accounting separation between the infrastructure management and the transport operation plays an important role, being that it makes it helps to increase the level of efficiency. As concerns the impact of total separation, this study remains neutral on the subject.

To test the existence of economies of scope in the railway industry, the article published by Growitsch and Wetzel (2007) uses a nonparametric method to evaluate the technical efficiency of a panel of 54 European railway companies observed between 2000 and 2004. This article examines the hypothesis that vertically integrated railway companies achieve economies of scope and as a result, they yield railway services more efficiently. This study shows that the performance of railway companies does not depend on the organisational model since both fully integrated and partially integrated structures produce good and poor performances. This study therefore remains neutral on the superiority of one organisational model over the other.

Unlike Growitsch and Wetzel (2007) who say nothing on the decision whether or not to separate the activities of the infrastructure manager from those of the train operator, Mizutani and Uranishi (2012) and Matsushima and Mizutani (2011), think the decision to separate the two entities depends on the density of traffic and the size of the market.

To analyse the main determinants of the choice of an organisational model, the article of Matsushima and Mizutani (2011) uses a theoretical analysis based on a model of a monopoly downstream to three actors namely, the staff (labour), the transport operator and

the infrastructure manager. The method used by the authors is that of comparing the profit of a vertically separated structure with that of a vertically integrated structure. The resolution of the programs shows that the decision to opt for a vertically integrated structure depends on the size of the market.

Unlike Matsushima and Mizutani (2011) who use a purely theoretical approach, the article of Mizutani and Uranishi (2012) makes use of an empirical analysis based on the estimation of the cost function of railway companies. Two hypotheses are tested:

- The cost of a vertically separated structure is less than or equal to that of a vertically integrated structure,
- The cross-effect of a change in structure and an increase in traffic density.

This methodology was applied to a panel of 23 railway companies observed between 1997 and 2007. The results of the various tests helped the authors to note on the one hand that a vertically separated structure has a lower cost of production than a vertically integrated system. On the other hand, when traffic density is high, preference is given to the vertically integrated structure because it has a lower production cost than a vertically separated structure. These two articles come to the conclusion that if traffic density is low, it is preferable to opt for a vertically separated structure, but if the density of the trains is high; preference must be given to the vertically integrated structure.

Finally, in a report published in 2012 by the consulting firm SCI Verkehr (SCI-Verkehr GmbH (2012)), the authors tried to compare the performances of a panel of 6 countries: Germany, France, Switzerland, the United Kingdom, Austria and the Czech Republic observed between 1994 and 2011. Five comparison criteria were used:

- The development of transport services,
- The development of competition,
- The level of economic development,
- The level of public contributions to investment,
- The evolution of the workforce.

It is worth noting that the aim of this comparison was to analyse the impact of the various European reforms on performance. Three conclusions emerge from this analysis.

- The development of railways depends very little on the organisation model of railway companies, but it is closely linked to policy decisions aimed at increasing the rail transport sector.

- In these countries, the activities of the infrastructure manager are generally regulated by the State, despite the fact that in the United Kingdom the infrastructure manager is a fully privatised company and is completely independent from transport operators.
- In Germany, the infrastructure manager and the train operator are organised as a holding company, but there is a high degree of openness to competition in railway activities in this country.

This brief literature review shows that with various and varied methods, several authors have attempted to analyse the impact of choosing an organisational model on railway performance. However, this literature remains inconclusive with regards the real effects of choosing an organisational model on performance since the opinions are quite divergent.

4.2.2 Liberalisation and competition in railways: impact on performance

The empirical analyses presented in Section 4.2.1 have mainly used binary variables to assess the liberalisation of railway operations, particularly the impact of vertical separation on railway performance. This approach is rather simplistic, being that it does not fully bring out the degree of liberalisation of railway activities. Since 2002, the consulting firm *IBM Global Business Services* proposed a new approach to assessing the degree of liberalisation: the Liberalisation Index (see 4.1.2 for details of this variable). This new form of assessment of the degree of liberalisation has therefore attracted the attention of several researchers and professionals. Among these authors are: Duranton et al. (2012); Pham (2013); Merkert et al (2010) and Kleinová (2016). It should be noted that this new variable was published only in 2002, 2004, 2007 and 2011, and this may be a limitation to the proposed study.

In a report published in 2012 by the consulting firm Boston Consulting Group, Duranton et al. (2012) propose a descriptive analysis to identify the main factors that explain the level of performance of the European railway companies. In this approach, performance is assessed by the intensity of infrastructure utilisation (33%), quality of service (33%) and security level (33%), respectively. The rate of utilisation of the infrastructure is measured on the one hand by the ratio of the number of passenger-km to the total population and on the other hand by the ratio of the number of tons-km to the total population. As to the quality of service, the authors noted the punctuality of daily life trains, the punctuality of long-distance

trains, the punctuality of high-speed trains and the average price of a passenger-km. Finally, at the level of safety, the authors used the number of accidents per train-km and the number of deaths per train-km. This methodology was applied to a sample of 24 European countries observed in 2012.

Several results emerge from this study:

- France, Germany, Switzerland, Sweden and Austria are the best performing countries being that they have a performance index equal to or greater than 6 points.
- On the one hand there is a weak correlation between the level of performance and the degree of liberalisation and on the other hand a weak correlation between the choice of an organisational model and the level of performance.
- Conversely, there is a significant correlation between the performance and the amount of subsidies granted by the State.

To assess the effects of rail liberalisation on railway performance, Pham (2013) uses a methodology based on the estimation of a production function. This author therefore tests the hypothesis that openness to competition has an impact on the level of production. In his analysis, the author assumes that the overall production of a company can be considered as a linear combination of the number of passenger-km and the number of tons-km. This assumption enables him to estimate a function of production in which the input used are the capital (the length of the tracks) and the labour force (the number of employees) and the COM variable published by IBM and Kirchner (2011). The results of Student's test help the author to realise that an improvement in the level of openness to competition increases the level of production and consequently the level of productivity. Thus, there would be a positive and significant correlation between the degree of openness to competition and the productivity of the companies.

The article published by Merkert et al (2010) examines the impact of transaction costs and organisational forms on the technical efficiency of railway companies. To do this, the authors used a two-step approach. In the first step, the data envelopment method was used to assess technical efficiency, while in a second step the TOBIT model was estimated to measure the impact of transaction cost and organisational forms on technical efficiency. To illustrate this methodology, the authors used a sample of 43 European railway companies operating in Germany, the United Kingdom and Sweden. This study shows that an increase in the transaction cost significantly reduces the level of technical efficiency. The transaction cost

is therefore an important determinant of the choice of an organisational model. This study also shows that the choice of a vertically separated structure does not have a significant impact on the level of technical efficiency.

More recently, a paper published by Kleinová (2016) also examined the impact of liberalisation on company performance. Just as in the previous studies, the author also used a two-step approach. In a first step, the data envelopment method is used to measure the technical efficiency of a panel of 27 European countries observed between 2002 and 2011. In a second step, the TOBIT model is used to estimate the main determinants of railway performance, particularly to analyse the impact of openness to competition and competitive dynamics on technical efficiency. This study shows that competitive dynamics has no impact on the level of efficiency, while the degree of openness to competition has the effect of reducing the level of technical efficiency.

4.3 Methodology and descriptive analyses

The aim of this section is to present the econometric model that will enable us to identify the main determinants of railway performance. We will define the model, present the different hypotheses to be tested and the characteristics of the variables to be used.

4.3.1 Model

In econometrics, the choice of a model generally depends on the variable to be explained, thereby distinguishing between qualitative and quantitative models. In our case, performance is given by productive, technical, commercial efficiencies and variation in total factor productivity. The values of these variables were estimated in the previous chapter.

Given that these variables take values between zero and one, we think that a TOBIT model will help to better adjust the relationship between the performance of railway companies and their potential determinants. Indeed, the TOBIT model was proposed by James Tobin (1958) and refers to models with limited dependent variables for which the dependent variable is continuous but can be observed only within an interval. In our case, the performance vector takes values between zero and one. Models with limited dependent

variables are derived from qualitative variables, which are generally used to evaluate the probability that the dependent variable belongs to an interval for which it is observable.

The TOBIT model presupposes that there is a latent (unobserved) variable Y^*, which can be written as a linear combination of a number of X_i explanatory variables. In other words, the TOBIT model assumes that there exists a latent Y^* variable which depends on a number of independent variables grouped together in an X matrix and whose effects are grouped in vector β. The observed values of Y can be written as follows:

Equation 4-1.TOBIT Model

$$I(Y) = \begin{cases} 0 & si \quad Y^* \leq 0 \\ Y & si \quad 0 \leq Y^* \leq 1 \end{cases}$$

With Y^* the latent variable defined by Equation 4-2.

Equation 4-2: the latent variable

$$Y^* = \alpha + \beta X_j + \varepsilon_j$$

In equation 4-2, X_i is the vector of explanatory variables, β the vector of parameters to be estimated and ε_i, the random term which follows a normal distribution of zero mean and constant standard deviation:

$$\varepsilon_i \square N(0, \sigma_\varepsilon)$$

4.3.2 Estimation method

The maximum likelihood technique is generally used to estimate equation 4-2. For a sample of size N, the likelihood function and the logarithm of this function can be written as follows:

Equation 4-3: Likelihood function

$$L(\beta,\sigma) = \prod_{j=1}^{N} \left(\frac{1}{\sigma} \phi \left(\frac{Y_j - X_j\beta}{\sigma} \right) \right) \times \left(1 - \Phi \left(\frac{Y_j - X_j\beta}{\sigma} \right) \right)^{1-I(Y_j)}$$

Equation 4-4: Logarithm of the likelihood function

$$\log L(\beta,\sigma)=\sum_{j=1}^{N} I(Y_j)\log\left[\frac{1}{\sigma}\phi\left(\frac{Y_j-X_j\beta}{\sigma}\right)\right]+\left(1-I\left(Y_j\right)\right)\log\left[1-\Phi\left(\frac{Y_j-X_j\beta}{\sigma}\right)\right]$$

4.3.3 Descriptive analysis

As performance indicators, we retained: productive efficiency (EP), commercial efficiency (EC), technical efficiency (ET), and variation in total factor productivity (TFP). These indicators were calculated in the previous chapter using the stochastic frontier method. As a determining potential of performance, we retained:

a Control variables

- Population density (DSP): it measures the number of inhabitants per square kilometre. A positive sign is expected given that a high population density could increase the rate of input utilization and as such, make the company more efficient.
- GDP per capita (GDP): This variable can positively influence the performance of companies since an increase in the level of GDP per capita could lead to a high mobility of train users.
- The mean distance run by a passenger (PMV): it is the average distance covered by a passenger. This variable makes it possible to distinguish between long distance traffic and regional traffic. It can positively influence performance.
- The mean distance run by one ton (PMF): this is the average distance covered by each ton of goods; this variable can have a positive or negative effect on performance.
- The area of each country (SUPERF): it helps to evaluate the economies of scale.
- Percentage of electrified lines (PLE): This variable can positively influence performance since an increase in the number of electrified lines could lead to a reduction in the workforce and consequently increase the level of productivity.
- Traffic structure (TSTRUC): it enables us to correct the difference in cost between the production of passenger services and the production of freight services.
- The number of tons per wagon (TRF) and the number of passengers per car (TRV) measure the filling rate of trains. These variables can negatively influence the level

of efficiency because, according to Oum and Yu (1994), the cost of a train-km increases with the filling rate of the train.

- The market share of passenger transport (PMaV) and the market share of freight (PMaF) measure the level of growth of the railway market compared to other modes of transport. These variables also measure the level of intermodal competition. They are therefore expected to have positive signs.
- TREND: it is the yearly trend variable that measures the influence of technological change through a temporal variable. The expected effect can be positive or negative.
- Train density (TDEN): it is equal to the total traffic evaluated in trains-km in relation to the length of the network. It is a variable that can be used to evaluate density savings.

b Variables to be tested

As indicators of the degree of liberalization of railway activities, we used the variables published by IBM and Kirchner (2004; 2007; 2011).

- The LIB variable measures the intensity of legal or practical barriers to entry into the market. It contains information on the company organization model (20%) and information on barriers to entry (80%). This variable could positively influence the level of performance.
- The COM variable measures the competitive dynamics. Its main components are: variation in modal share (20%), the number of external companies (20%) and the market share of external railway companies (60%).

According to the neoclassical theory, the opening of a market to competition helps to reduce the costs of companies engaged in this market. It is expected that these variables will positively influence the level of performance. Moreover, this is the idea defended by the European Commission.

Considering explanatory variables, the equations to be estimated can be written as follows:

Equation 4-5: TOBIT Model with COM

$$EE_{it} = \beta_0 + \beta_1 COM_{it} + \beta_2 TRF + \beta_3 TRV + \beta_4 GDP + \beta_5 SUPERF + \beta_6 TDEN + \beta_7 TSTRUCT + \beta_8 PEL + \beta_9 PMaV + \beta_{10} PMaF + \beta_{11} PMV + \beta_{12} PMF + \beta_{13} TREND + \varepsilon_{it}$$

Equation 4-6: TOBIT Model with LIB

$$EE_{it} = \beta_0 + \beta_1 LIB_{it} + \beta_2 TRF + \beta_3 TRV + \beta_4 GDP + \beta_5 SUPERF + \beta_6 TDEN + \beta_7 TSTRUCT + \beta_8 PEL + \beta_9 PMaV + \beta_{10} PMaF + \beta_{11} PMV + \beta_{12} PMF + \beta_{13} TREND + \varepsilon_{it}$$

In these different equations, the EE variable represents the level of performance and as such, it will be replaced by productive, commercial efficiencies, and the efficiency and variation in total factor productivity. β_0, β_2 ……,β_{13} are the parameters to be estimated and ε_{it}, is the error term which follows a normal distribution of zero mean and constant variance.

c Data

The sample used to evaluate the impact of openness to competition and the degree of liberalization of performance is the same as the one presented in Chapter 3. Tables 4-1, 4-2 and 4-3 present average values of variables that will be used in the TOBIT model.

According to table 4-1, we observe that an average of 22% of total freight traffic is by rail, compared with 7.45% for passenger traffic. Between 1997 and 2011, changes in the average value of freight market share and changes in passenger market share show a steady decline, indicating that rail transport cannot compare with other modes of transport. Despite this overall decline, it should be noted that in Austria, Poland, Romania, Slovakia and Sweden, transportation of freight by rail has a modal share of more than 30%. For passenger transport, Austria, Hungary and Romania have modal shares of more than 10%.

For this sample, the mean distance run by a passenger is 56.7 km compared to 263.3 km per ton. From this point of view, Bulgaria (71 km), France (79 km), Italy (95 km) and Romania (89) are countries with an average distance of more than 70 km. In these countries, long distance passenger transport is the dominant activity. However, in the Czech Republic (38 km), Denmark (37 km), Germany (40 km), Portugal (26 km), Slovakia (46 km), Slovenia (49 km) and Spain (45 km), we can think that short-distance passenger transport is the main activity.

Similarly, statistics show that the average distance covered per ton is 479 km in Spain, 436 km in Sweden, 387 km in France, 334 km in Italy and 297 km in Germany. Countries with an average distance of less than 200 km include Austria (195 km), Belgium (137 km), the Czech Republic (171 km), Hungary (174 km) and Slovakia (196 km), which are very small countries. For the whole sample, the average distance is estimated at 263 km.

Table 4-1 : Descriptive statistics

ID	SUPERF	PEL	PMaF	PMaV	PMF	PMV
Austria	83,869	0.632504	33.047	10.120	195.901	45.061
Belgium	30,528	0.813290	13.233	6.527	137.116	48.692
Bulgaria	110,959	0.671008	25.883	6.180	249.827	71.276
Czech Republic	78,866	0.314432	26.733	7.733	171.567	38.278
Denmark	43,088	0.229645	8.987	8.247	268.357	37.479
Finland	338,258	0.451933	24.987	5.007	249.141	58.938
France	632,834	0.495255	17.613	9.093	387.867	79.804
Germany	357,063	0.587571	20.153	7.660	293.292	40.532
Hungary	93,029	0.348786	25.267	12.767	174.116	59.515
Italy	301,336	0.678952	10.760	5.580	333.851	95.004
Poland	312,684	0.578362	33.207	8.247	232.592	67.636
Portugal	92,071	0.427866	6.440	4.427	235.134	25.879
Romania	238,391	0.364956	31.560	11.873	226.881	89.469
Slovakia	49,035	0.426229	32.113	7.200	196.103	45.551
Slovenia	20,273	0.412010	24.307	2.693	208,365	49.185
Spain	505,994	0.587251	5.833	5.233	479.020	45.273
Sweden	441,295	0.698589	36.200	8.120	436.894	66.272
AVERAGE	219,387	0.514622	22.092	7.453	263.296	56.697

Table 4-2 shows that the average number of tons per train is 468, while the average number of passengers per train is 117. It should be noted that these indicators show the level of use of rolling stock. With 195 passengers per train, France is the country that uses rolling stock the most. It is followed by Italy (184), Spain (152), Portugal (132), Poland (131) and Romania (124). At the bottom of this ranking are the Czech Republic (63), Slovenia (65) and Slovakia (75). Regarding transportation of goods, Poland is on the lead with an average of 629 tons by train. It is followed by Finland (587), Romania (574), Slovakia (573) and Hungary (512).

In terms of the use of infrastructure, Austria ranks first with a train density of 20.839, followed by Denmark with an average of 20.340. Germany comes in third with an average of 15.880, followed by Belgium (14.998) and Slovakia (13.982). At the bottom of this classification are Romania (4.658), Finland (5.514) and Poland (5.843).

The analysis of traffic patterns shows that average passenger traffic accounts for 75% of total rail traffic in Denmark, 69% in Italy, 65% in Spain, 64% in Portugal and 63% in France. These figures show that in these countries, passenger transport is the dominant activity. However, in Slovenia (19%), Slovakia (21%), Finland (26%), Poland (28%), the Czech Republic (30%), Sweden (30%), Austria (34%), Romania (36%), Bulgaria (37%), freight transport is the dominant activity.

Table 4-2: Descriptive statistics (continued)

Austria	374.21	98.70	30126.67	99.12	20839.48	0.34
Belgium	536.31	113.58	28600.00	345.89	14997.62	0.53
Bulgaria	429.78	114.62	3146.67	70.33	5879.77	0.37
Czech Republic	438.78	62.95	10240.00	133.31	9119.94	0.30
Denmark	450.08	97.80	37620.00	125.68	20340.85	0.75
Finland	587.53	114.09	30186.67	17.23	5514.16	0.26
France	415.39	195.42	27146.67	98.74	10091.33	0.63
Germany	448.27	98.54	28386.67	229.92	15880.30	0.46
Hungary	511.88	119.23	7640.00	108.48	8640.63	0.51
Italy	406.44	184.81	24313.33	196.04	13868.65	0.69
Poand	629.39	131.11	6493.33	122.30	5842.71	0.28
Portugal	336.94	131.88	14353.33	113.20	12054.32	0.64
Romania	573.82	128.47	3746.67	95.07	4657.84	0.36
Slovakia	573.01	75.14	7466.67	109.77	13982.10	0.21
Slovenia	411.06	65.20	14146.67	99.67	8747.07	0.19
Spain	327.36	151.30	19553.33	85.57	9100.48	0.65
Sweden	510.41	106.32	33780.00	22.06	8690.52	0.30
AVERAGE	468.27	117.01	19232.16	121.90	11073.40	0.44

The most densely populated countries are Belgium (345 inhabitants/km^2), Germany (229 inhabitants/km^2), Italy (196 inhabitants/km^2), the Czech Republic (133 inhabitants/km^2) and Denmark inhabitants/km^2). At the bottom of the ladder are Finland (17 inhabitants/km^2), Sweden (22 inhabitants/km^2) and Bulgaria (70 inhabitants/km^2). In terms of annual GDP per capita, the richest countries are Denmark (€37,620), Sweden (€33,780), Finland (€30,187), Austria (€30,126) and Belgium (€28,600). At the bottom of the ranking are Slovakia and Hungary.

The average values of competitive dynamics (COM) and the degree of liberalisation (LIB) are presented in table 4-3. Sweden can be considered to be the most advanced country in terms of liberalization since it has an index of 809 and 599 for the competitive dynamics index. It is followed by Germany, which has an average of 799.8, for liberalization and 557 for the competitive dynamics index. Austria (697 and 379) is ranked third. Italy occupies the fourth position (682 and 326). Countries where liberalization is slow to take place include Bulgaria (435, 210), Spain (446, 198) and France (493, 213).

Table 4-3 : Descriptive statistics (continued and end)

ID	TFP	EP	EC	ET	OL	COM
Austria	1.02165	0.91956	0.69510	0.93075	697.4091	379.4545
Belgium	1.03316	0.91284	0.88929	0.87581	604.7273	264.3182
Bulgaria	0.93467	0.86656	0.89243	0.80310	435.9091	210.6364
Czech Republic	1.07432	0.92855	0.75159	0.66307	594.4091	271.9091
Denmark	0.89711	0.91673	0.85408	0.86811	768.9091	520.9545
Finland	0.86460	0.88204	0.93908	0.90302	595.2727	149.4091
France	1.18137	0.88182	0.90592	0.91257	493.0455	213.1818
Germany	1.23375	0.91470	0.85935	0.82409	799.8182	557.9545
Hungary	1.03512	0.87940	0.88714	0.84609	495.2273	282.0000
Italy	1.14703	0.88254	0.89303	0.89297	682.3182	326.6364
Poland	1.16978	0.86569	0.93282	0.86094	594.4091	360.5000
Portugal	0.88094	0.87645	0.91666	0.89859	663.0909	274.9091
Romania	1.01928	0.82418	0.93380	0.77450	460.7273	294.9545
Slovakia	1.05884	0.85193	0.91271	0.84550	561.6364	301.5455
Slovenia	0.84306	0.91912	0.87064	0.87989	499.5000	183.1818
Spain	0.96603	0.90298	0.79777	0.84022	446.1818	198.0909
Sweden	0.87869	0.91933	0.83987	0.85848	809.2727	599.0909
AVERAGE	1.014083	0.8908493	0.8688972	0.8516296	600.1096	316.984

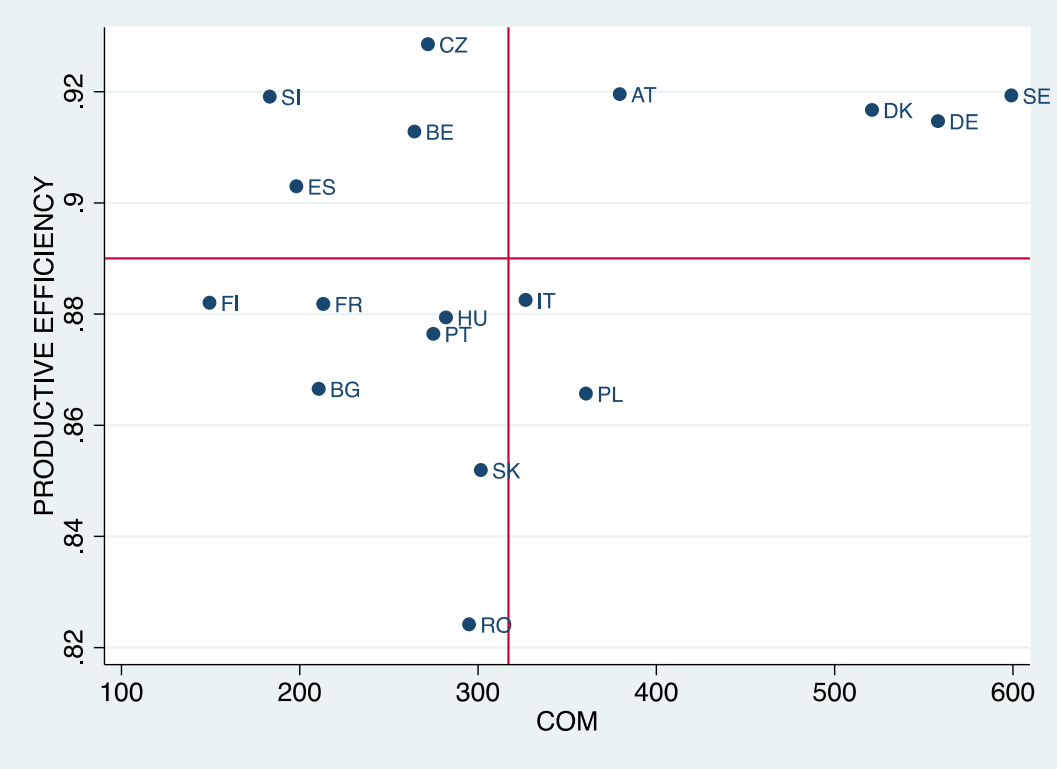


Figure 4-6 : Point cloud between productive efficiency and COM
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data

Figure 4-6 shows the point cloud whose variables are productive efficiency (EP) and the competitive dynamics index (COM). The analysis of this figure enables us to divide our sample into four sub-samples. The first is made up of countries such as Finland (FI), France

(FR), Hungary (HU), Portugal (PT), Slovakia (SK) and Romania (RO). These are countries whose competitive dynamics index is lower than the sample average (COM <316) and the average technical efficiency score is also lower than the sample average (EP <0.89). These are countries with low performance level and low liberalization index. The second sample consists of countries with the average score of productive efficiency that is more than the mean, but with an index of openness to competition lower than the average. This sub-category includes Spain (ES), Belgium (BE), the Czech Republic (CZ) and Slovenia (SI). The third sample includes Poland (PT) and Italy (IT). These are countries with a low level of efficiency (EP <0.89) but which have a high level of openness to competition (COM> 319). Finally, the fourth sample includes Austria (AT), Denmark (DK), Germany (DE) and Sweden (SE). These countries have a high efficiency score and a high degree of openness.

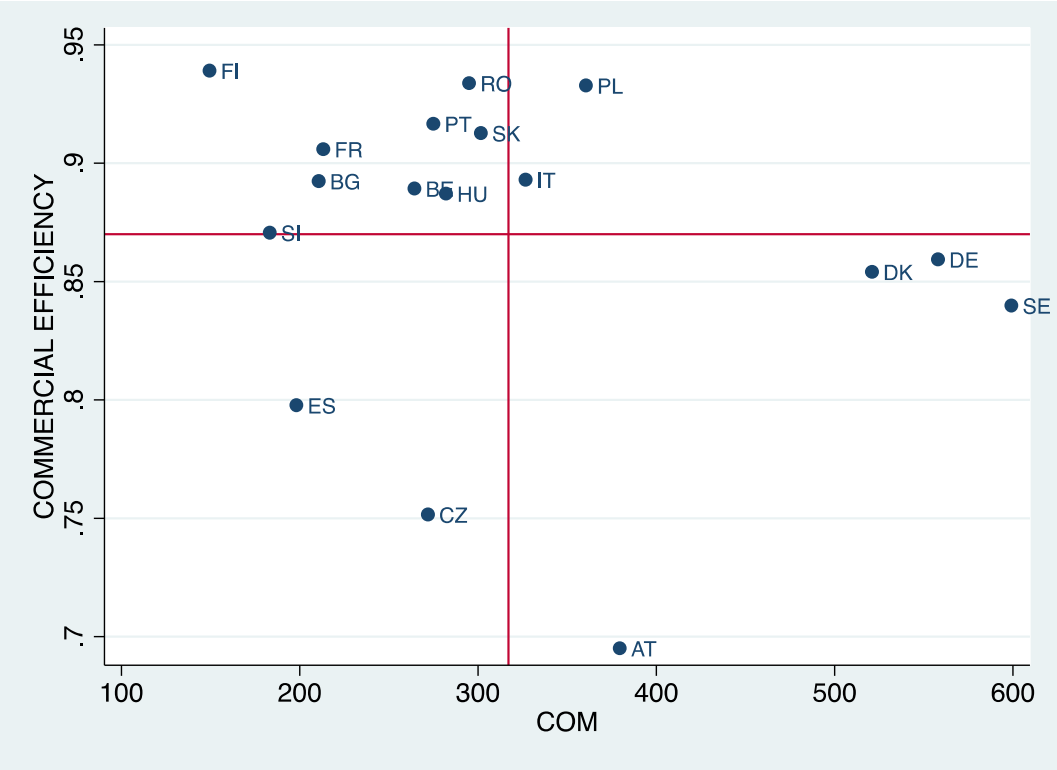


Figure 4-7 : Point cloud between commercial efficiency and COM
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data



Figure 4-8: Point cloud between commercial efficiency and COM
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data

The analysis of the point cloud whose variables are commercial efficiency (EC) and the competitive dynamics index (COM) (see figure 4-7) gives a rather different distribution. Countries, which have a low commercial efficiency score and competitive dynamics index, are Spain (ES) and the Czech Republic (CZ). Italy and Poland are countries with a strong commercial efficiency score and a high degree of openness to competition. However, in Denmark (DK), Germany (DE) and Sweden (SE), the high level of the competitive dynamics index is associated with a low level of commercial efficiency. For the rest of the sample, the statistics show a low competitive dynamics associated with a high score of commercial efficiency.

Figure 4-8 shows the point cloud whose variables are the competitive dynamics and the level of technical efficiency. Reading ,this graph helps us to distinguish three categories of countries:

- The first category includes Bulgaria (BG), Romania (RO) and the Czech Republic (CZ), whose low technical performance is associated with low competitive dynamics.

- Austria (AT), Poland (PL), Italy (IT), Denmark (DK) Germany (DE) and Sweden (SE) constitute the second group. These are countries where high technical performance is associated with strong competitive dynamics.
- The third sub-sample consists of the rest of the countries. In this category, the high level of technical performance is associated with low competitive dynamics.

Finally, figure 4-9 shows the point cloud whose variables are the competitive dynamics and the variation in total factor productivity. This point cloud suggests a linear adjustment between the variation in technical efficiency and the index of openness to competition. It can therefore be assumed that a change in competitive dynamics could lead to an improvement in productivity gains. Although this logic seems to be true for most countries, there is an exception for France (FR) (characterized by high productivity gains with low competitive dynamics), Denmark (DK) and Sweden (SE) (characterised by low productivity gains and strong competitive dynamics).

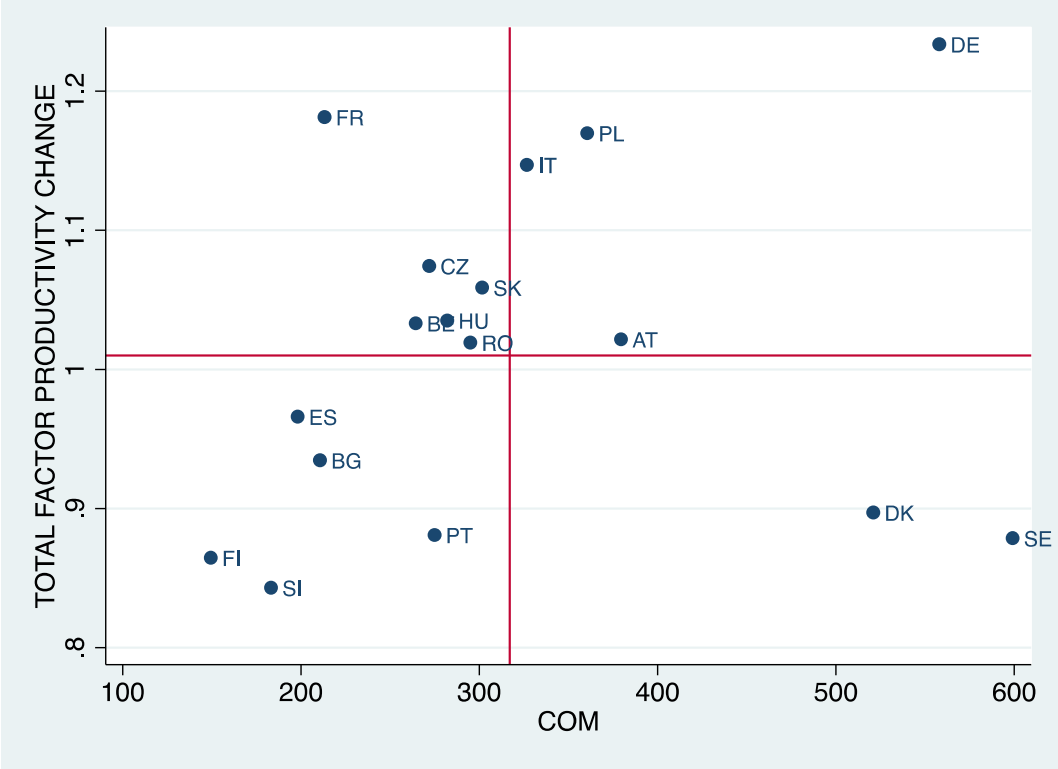


Figure 4-9: Point cloud between the variation in total productivity and COM
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data

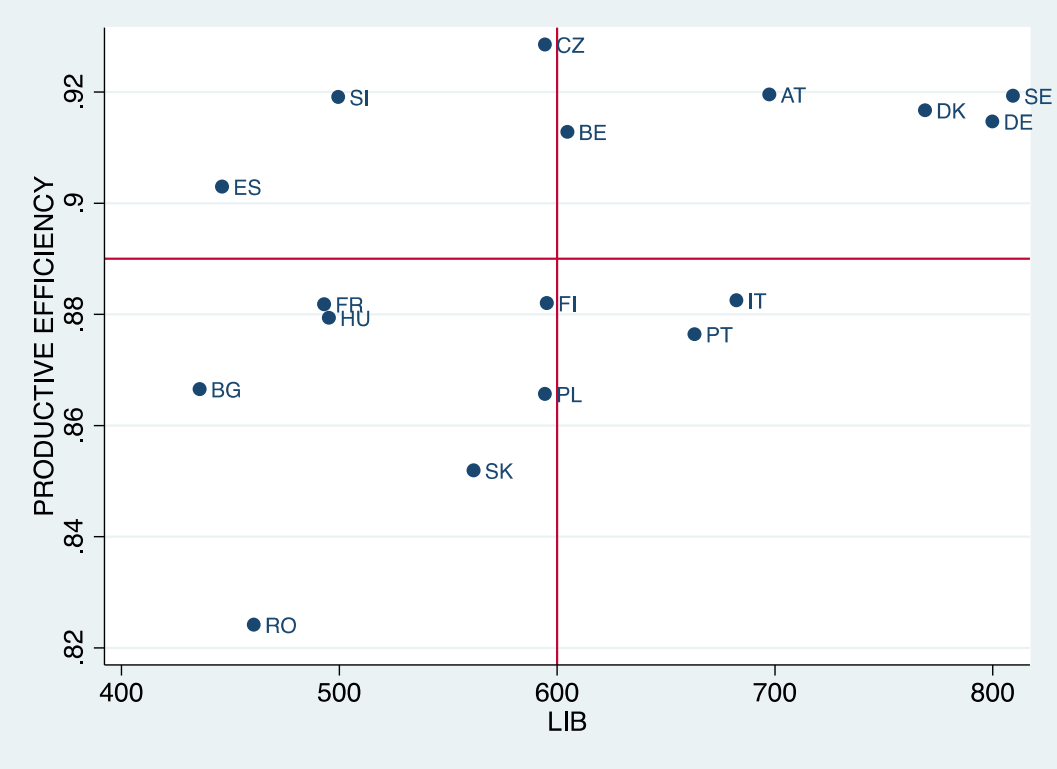


Figure 4-10: Point cloud between productive efficiency and LIB
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data

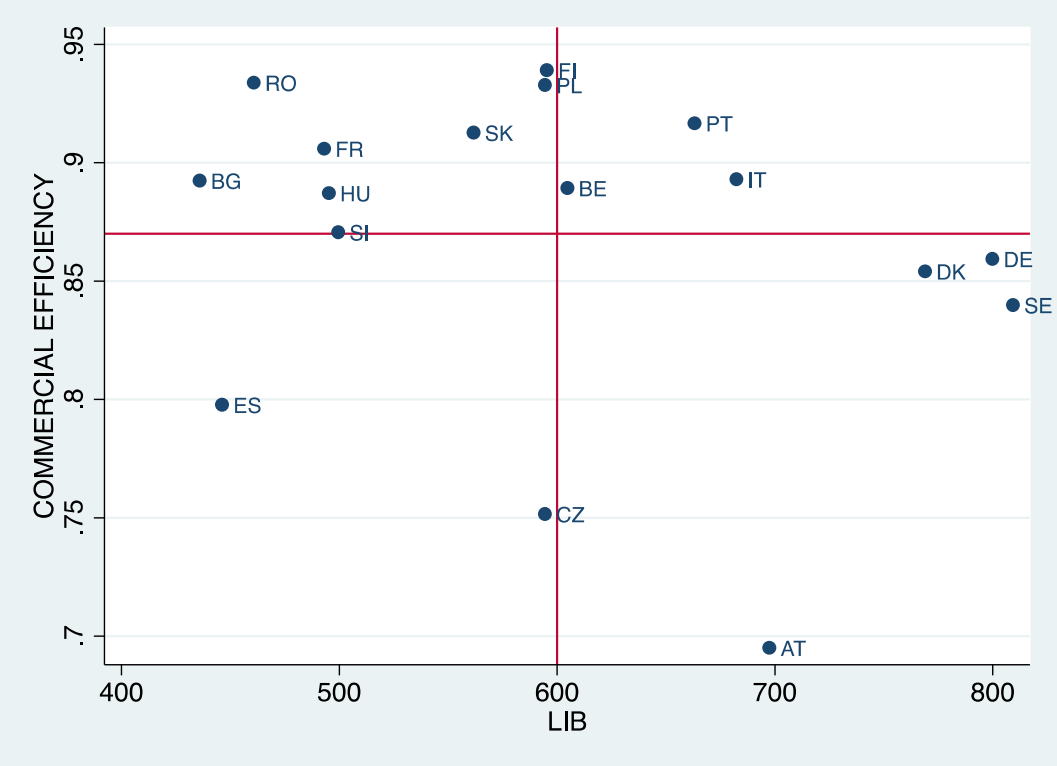


Figure 4-11 : Point cloud between commercial efficiency and LIB
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data

The descriptive analysis of the potential correlation between the competitive dynamics index and performance indicators shows that it is difficult to predict a stable relationship between the level of technical efficiency and competitive dynamics, the competitive dynamics index and commercial efficiency, and finally between productive efficiency and competitive dynamics.

From a descriptive point of view, we also analysed the potential correlation between the degree of liberalisation (LIB) and performance indicators. The point clouds are represented in Figures 4-10, 4-11, 4-12 and 4-13. While examining these figures, we arrived at the same conclusions as those obtained during the analysis of the correlation that might exist between the competitive dynamics (COM) and performance indicators.

This descriptive analysis revealed that there are several factors that could explain the performance levels observed. However, it is difficult to quantify the effects of these variables on performance. Similarly, statistics show that it is difficult to predict a stable correlation between the degree of openness to competition and performance indicators, on the one hand and between performance indicators and competitive dynamics, on the other hand. In fact, in our sample, we find four categories of countries: those with low performances associated with a low level of liberalization, those with low performances but with a high liberalization index, countries with high performances with a low level of liberalization and finally, those with high performance coupled with a strong liberalization.

In order to establish the causal relationship that exists between performance indicators and their respective determinants, we used a limited dependent variable model (TOBIT). The results of these estimates will be presented in the following section.

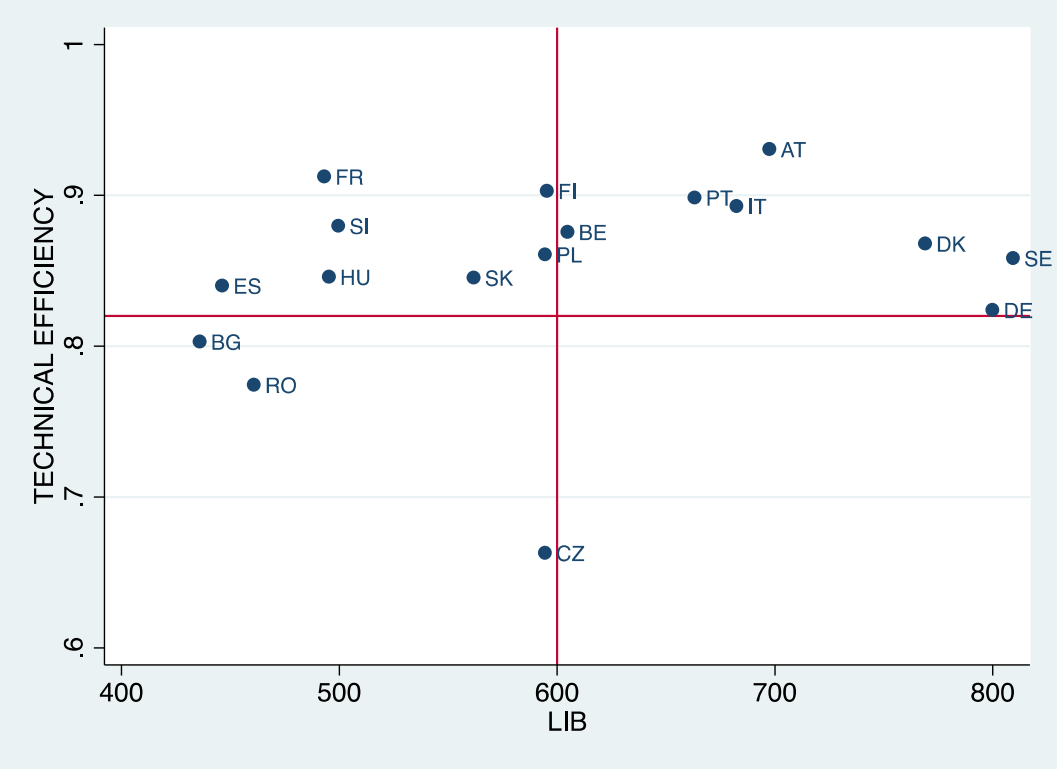


Figure 4-12: Point cloud between ET and LIB
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data

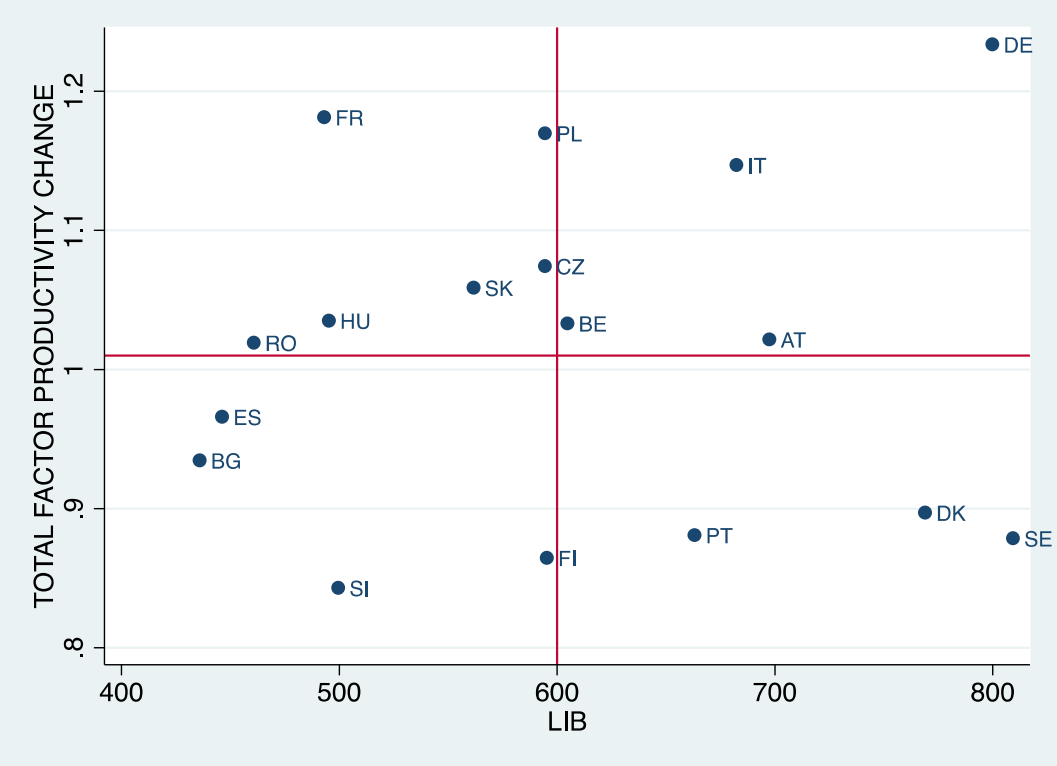


Figure 4-13 : Point cloud between variation in total productivity and LIB
Sources: Calculations by the author based on the EUROSTAT, UIC and IBM data

4.4 Analysis and interpretation of results

It should be recalled that for this analysis, we have at our disposal a sample group of 17 countries observed between 1997 and 2011. The performance indicators are those calculated in chapter 3. We opted for this period because the COM and LIB variables were published only for 2002, 2004, 2007 and 2011. We have estimated the missing values between 2001 and 2011 using the arithmetic means. Concretely, for the unpublished years, 2001 and 2003, the COM and LIB variables were estimated using the arithmetic means of the values published in 2002 and 2004. Similarly, for 2005 and 2006, we estimated the values observed in 2004 and 2007 arithmetically. Finally, for 2008, 2009 and 2010, we used the arithmetic means to estimate the values observed in 2007 and 2011.

To estimate the main determinants of the performance of railway companies, we used a limited dependent variables model, specifically a TOBIT model. We took into account the temporal and individual dimension, which enabled us to estimate a TOBIT model with random effects. The results of these estimates are reported in tables 4-5 and 4-6.

4.4.1 Validation of models

Before presenting our results in detail, it is important to analyse the criteria of validation of the estimated models. As such, we will answer the following question: Is the Tobit model better than the ordinary least squares model? The answer to this question depends on the significance of the σ^2 parameter, which represents the variance of the model. For all the models estimated, the results of the Student test show that at the threshold of 1%, the standard deviation of the model is statistically different from zero, which makes us to observe that the Tobit model is better than that of ordinary least squares.

The likelihood ratio test results show that there is at least one variable that explains the level of performance. For this test, the null hypothesis can be formulated as follows: Ho: “there are no variables that explain the level of performance”. As the results show, the probability associated with this test is equal to 0.000 for all models, which makes us to reject the null hypothesis and assert that the model with explanatory variables is better than that without explanatory variables.

In order to detect multi-collinearity, we carried out a Variance Inflation Factor. The results of these tests are presented in tables 4-4 and 4-5. In these tables, the tolerance is given

by the inverse of the Variance Inflation Factor. (TOLERANCE = 1/VIF). This variable must be greater than 0.1 so that we can conclude that there are no multi-collinearity problems. The results of the inflation factor tests show that multi-collinearity is not a problem because there is a low correlation between the variables. Given that we have estimated a model with censored variables, heteroscedasticity is therefore not a problem to be controlled.

Table 4-4 : Results of variance inflation test (COM)

VARIABLES	VIF	SQUARE ROOT OF VIF	TOLERANCE = 1/VIF	SQUARE ROOT
COM	2.30	1.52	0.44	0.56
TRF	2.24	1.50	0.45	0.55
TRV	5.37	2.32	0.19	0.81
GDP	2.38	1.54	0.42	0.58
DSP	3.43	1.85	0.29	0.71
SUPERF	3.19	1.79	0.31	0.69
TDEN	5.43	2.33	0.18	0.82
TSTRUCT	2.75	1.66	0.36	0.64
PLE	5.78	2.40	0.17	0.83
PMaF	7.39	2.72	0.14	0.86
PMaV	3.64	1.91	0.27	0.73
PMF	5.46	2.34	0.18	0.82
PMV	2.29	1.51	0.44	0.56
TREND	1.97	1.40	0.51	0.49

Table 4-5: Results of variance inflation test (LIB)

VARIABLES	VIF	SQUARE ROOT OF VIF	TOLERANCE = 1/VIF	SQUARE ROOT
LIB	2.65	1.63	0.38	0.62
TRF	2.20	1.48	0.45	0.55
TRV	4.85	2.20	0.21	0.79
GDP	2.63	1.62	0.38	0.62
DSP	3.45	1.86	0.29	0.71
SUPERF	5.84	2.42	0.17	0.83
TDEN	3.10	1.76	0.32	0.68
TSTRUCT	5.40	2.32	0.19	0.81
PLE	2.70	1.64	0.37	0.63
PMaF	7.57	2.75	0.13	0.87
PMaV	3.54	1.88	0.28	0.72
PMF	5.72	2.39	0.17	0.83
PMV	2.26	1.50	0.44	0.56
TREND	2.31	1.52	0.43	0.57
AVERAGE VIF	3.87			

4.4.2 Analysis of performance determinants: control variables

It should be recalled that in tables 4-6 and 4-7, models 1 and 5 estimate the impact of competitive dynamics (COM) and the degree of openness to competition (LIB) on the productive efficiency of railways respectively, while models 2 and 6 test the impact of the COM and LIB variables on business efficiency respectively. Models 3 and 7 (respectively 4 and 8) estimate the impact of the COM and LIB variables on technical efficiency respectively (respectively on the change in total factor productivity).

For models 1, 2, 3, 5, 6 and 7, the Student test results show that the coefficient associated with the number of tons per train (TRF) variable is statistically different from zero. The sign associated with this coefficient shows that increasing the number of tons per train tend to reduce productive efficiency. On the other hand, it increases commercial and technical efficiencies. To quantify these variations, we have calculated the marginal effects and the results have been reported in appendices 4-1 and 4-2. The marginal effects are determined by the partial derivatives of the function to be estimated with respect to each explanatory variable. They are calculated using the average value of each explanatory factor as a reference. Thus, any increase of 1% will be interpreted as an increase with regard to the average value of the explanatory factor.

In these tables, it can be observed that an increase of 1% in the number of tons by train results in a reduction of 0.012% in the productive efficiency score, an increase of 0.04% in commercial efficiency, and finally, an increase of 0.03% of the technical efficiency score. Intuitively, this result seems logical since commercial efficiency reflects the relationship between the railway company and its main customers. However, for the other models, the results of the Student test show that the number of tons by train has no significant effect on the variation in total factor productivity.

The coefficient associated with the number of passengers per train (TRV) variable is positive and significant in models 2, 3, 4, 6, 7 and 8. This result shows that an increase in the number of passengers per train helps to increase the level of commercial efficiency, technical efficiency and total factor productivity change. Nevertheless, it has no effect on productive efficiency. More specifically, an increase of 1% in the number of passengers per train results in an increase of 0.2% in the commercial efficiency score, an increase of 0.2% in the technical efficiency score, and an increase of 0.1% in productivity gains. These results are identical

with those obtained by Pedro, Manuel and Lorenzo (2008). The analysis of the number of passengers per train and the number of tons per train show that there is a positive correlation between the rate of use of rolling stock capacity and the performance of railways.

Unlike Driessen et al (2006), who show that GDP per capita has no significant impact on productive efficiency, our results show that this variable has a positive and significant impact on productive efficiency and technical efficiency. However, it has a negative effect on total factor productivity change. The values of the marginal effects show that an increase of 1% in GDP per capita leads to an increase of 0.0001% in the level of productive efficiency, an increase of 0.0003% in the level of technical efficiency and finally, a reduction of 0.0006% in productivity gains. The negative correlation observed between GDP per capita and productivity gains can be justified by the fact that the more people are rich, the more they will favour other transport modes.

The analysis of control variables also shows that the rate of use of infrastructure, represented by the train density (TDEN) variable, has a negative and significant effect on the commercial efficiency, on the one hand and a positive and significant effect on productivity gains, on the other hand. Although the results show that the rate of use of infrastructure does not have a significant impact on productive efficiency and technical efficiency. The sign of the parameter associated with this variable enables us to see that it plays an important role in determining technical efficiency. Since productivity gains are essential for a railway company, it can be said that the rate of use of infrastructure is an important factor in improving the performance of railway companies.

The coefficient associated with the traffic structure variable (TSTRUC) is negative and significant for all models. It should be recalled that this variable is defined by the ratio between the number of passenger trains-km and the total traffic expressed in trains-km. The negative sign of the coefficient associated with this variable enables us to note that railway companies specializing in passenger transport are those with a low level of performance. In other words, the greater the share of passenger traffic, the less the company is performance in terms of productive efficiency, commercial efficiency and technical efficiency. This result can be justified by the fact that the production of a passenger-km costs more to the company than the production of one ton-km [Driessen et al. (2006)].

The coefficient associated with the market share of freight activity is negative and significant in models 1, 3, 5 and 7, while it is positive and significant in models 4 and 8. These results show that intermodal competition in the freight transport sector reduces

productive efficiency and technical efficiency. However, intermodal competition increases total factor productivity. For passenger transport activity, the results are quite different. The coefficient associated with the variable of market share of passenger transport activity is positive and significant in models 1, 3, 5 and 7, but it is negative in models 2 and 6. The sign associated with this variable shows that intermodal competition in the passenger transport sector tend to increase productive efficiency and technical efficiency. On the other hand, it reduces commercial efficiency.

It should be borne in mind that the evolution of the market share of rail transport depends on two factors: the volume transported and the distance covered. The negative sign of the coefficients associated with market share variables can therefore be explained by the distance effect.

Finally, the results also show that the mean distance run by a ton plays an important role in determining the level of performance. Indeed, the coefficient associated with the mean distance run by a ton of goods (PMF) is positive and significant only in models 3 and 7, which shows that there is a positive correlation between the average distance run by a ton of freight and the level of technical efficiency. The marginal effects shows that an increase of 1% in the average distance run by a ton of freight leads to an increase of 0.05% technical efficiency. This result suggests that railway companies should favour long distances for freight traffic. The analysis of the mean distance run by a passenger (PMV) gives a rather different result. Indeed, the coefficient associated with this variable is negative and significant in model 1, 2, 3, 5, 6 and 7, which shows that the mean distance ran by a passenger, has a negative effect on the productive, commercial and technical efficiency scores. This result suggests that for the passenger transport activity, companies can perform well by operating on short distances.

The analysis of control variables shows that there are several factors that can explain the performance of railway companies. Thus, we can assert that inefficiency of railway companies cannot be explained solely by managerial errors attributable to managers or by the inadequate productive structures; the structural environment specific to each country can therefore influence it.

4.4.3 Impact of competitive dynamics on railway performance

It should be recalled that the COM variable uses statistics on market sharing and traffic trends to evaluate the competitive dynamics within member States. This variable can also be considered to be an indicator of intra-modal competition.

The results show that for models 2, 3 and 4, the coefficient associated with the COM variable is positive and significant. This suggests that the dynamics of intermodal competition helps to increase commercial efficiency, technical efficiency score and productivity gains. The marginal effect values show that an increase of 1% in competitive dynamics leads to an increase of 0.04% in the commercial efficiency score, 0.03% in the technical efficiency score and 0.02% in the productivity gains. This result is in line with the economic theory that openness to competition leads to improved performance of companies.

It should be noted that this result does not take into account the control of the degree of liberalization since the LIB variable has not been introduced as a control variable in the models.

4.4.4 Impact of liberalisation on railway performance

Measured by the LIB index, the intensity of barriers to entry is evaluated both on legal and operational barriers, that is law in book and law in action.

According to table 4-7, the coefficient associated with the LIB variable is positive and significant only for models 6, 7 and 8. The sign of the coefficient associated with this variable enables us to say that liberalisation has a positive impact on the commercial efficiency score, a positive impact on the technical efficiency score and a positive impact on productivity gains.

To quantify these impacts, we calculated the marginal effects. The results of these calculations make us to conclude that an increase of 1% in liberalisation leads to an increase of 0.005% in the level of commercial efficiency, 0.012% in technical efficiency and 0.017% in productivity gains.

This result is therefore in line with the economic theory, which says that openness to competition could have positive effects on the performance of companies engaged in the market. It is important to note that this result does not take into account the control of the intra-modal competitive dynamics represented by the COM variable.

In order to control the liberalization effect in the analysis of the impact of competitive dynamics on performance and conversely, we have introduced the COM and LIB variables into the same model. The results of these estimates are presented in Table 4-9.

The first diagnostic is that of multi-collinearity. To do this, we carried out the variance inflation test in order to identify the degree of correlation that exists between these variables or the factor at the origin of the multi-collinearity. The results of this test are presented in table 4-8. To understand the results contained in this table, it is important to note that a factor is a source of inflation of the variance if the value of its tolerance is less than 0.1 (or if the variance of this factor is greater than 10). In this case, the multi-collinearity is detected and deserves to be corrected. According to Table 4-8, the tolerance (1/VIF) is greater than 0.1 for all variables. This result shows the presence of a small multi-collinearity which will not have a significant effect on the results.

The likelihood ratio test shows that the model with explanatory variables is better than the model without explanatory variables. This result suggests that there is at least one variable that explains the performance. Similarly, it can be observed that whatever the model, the standard deviation is significant. Thus, the Tobit model is better than the ordinary least squares.

According to table 4-9, the coefficient associated with the COM variable is significant only in models 10 and 12. The sign of the coefficient associated with this variable enables us to assert that the competitive dynamics has a negative impact on commercial efficiency while having a positive effect on productivity gains. In the same vein, the analysis of the coefficient associated with the LIB variable shows liberalisation has a positive effect on commercial efficiency. However, it has no effect on other variables.

This second analysis challenges the results obtained with models 1 to 8. It therefore seems difficult to judge the real effects of intra-modal competitive dynamics and the degree of openness to competition on railway performance.

Table 4-6 : TOBIT Models with COM variable

VARIABLES	MODEL 1 EP	MODEL 2 EC	MODEL 3 ET	MODEL 4 PTF
COM	3.95E-05	5.14e-05*	0.000133***	0.000165**
	(3.20E-05)	(3.09E-05)	(4.70E-05)	(6.79E-05)
TRF	-1.27E-04	0.000414***	0.000328***	2.91E-05
	(4.89E-05)	(4.87E-05)	(7.17E-05)	(1.04E-04)
TRV	-2.57E-04	0.00182***	0.00261***	0.00105**
	(2.24E-04)	(2.18E-04)	(3.29E-04)	(4.76E-04)
GDP	1.20e-06**	-1.76E-07	2.58e-06***	-5.39e-06***
	(4.77E-07)	(4.65E-07)	(6.99E-07)	(1.01E-06)
DSP	8.44E-05	1.19E-04	7.52E-05	0.00125***
	(8.97E-05)	(8.81E-05)	(1.31E-04)	(1.90E-04)
TDEN	-4.27E-07	-2.82e-06**	7.10E-07	7.84e-06***
	(1.23E-06)	(1.20E-06)	(1.81E-06)	(2.64E-06)
TSRUC	-0.245***	-0.162*	-1.416***	-1.80E-01
	(8.87E-02)	(8.60E-02)	(1.30E-01)	(1.88E-01)
SUPERF	2.96E-08	-7.93e-08*	-4.39e-07***	4.34e-07***
	(4.81E-08)	(4.65E-08)	(7.04E-08)	(1.02E-07)
PLE	-6.24E-03	-0.150***	-3.50E-02	-0.192**
	(3.68E-02)	(3.58E-02)	(5.39E-02)	(7.82E-02)
PMaF	-0.247**	1.84E-02	-0.679***	0.417**
	(9.84E-02)	(9.51E-02)	(1.44E-01)	(2.09E-01)
PMaV	0.564**	-1.187***	1.618***	4.47E-01
	(2.65E-01)	(2.57E-01)	(3.88E-01)	(5.63E-01)
PMF	-1.27E-05	-6.86E-05	0.000481***	-5.92E-05
	(9.46E-05)	(9.14E-05)	(1.39E-04)	(2.01E-04)
PMV	-0.000808***	-0.000592**	-0.00202***	-2.39E-04
	(3.00E-04)	(2.94E-04)	(4.40E-04)	(6.38E-04)
TREND	-9.00E-04	-0.00575***	-0.00678***	-3.74E-03
	(1.62E-03)	(1.57E-03)	(2.38E-03)	(3.45E-03)
CONSTANT	1.190***	0.875***	1.543***	0.779***
	(6.42E-02)	(6.25E-02)	(9.42E-02)	(1.36E-01)
σ_ε	0.0500***	0.0483***	0.0732***	0.106***
	(2.61E-03)	(2.52E-03)	(3.81E-03)	(5.53E-03)
Uncensored observations	185	185	185	185
Right censor	1	1	1	1
Left censor	1	1	1	1
Prob>Ch2	0.000	0	0.000	0.000
Wald Chi2 (14)	66.3	183.84	153.61	136.19
Log-likelihood	288.552	296.018	218.977	149.532
Note: Standard deviations in parentheses				
*** significant to 1 %, ** significant to 5%, * significant to 10%				

Table 4-7: TOBIT Models with COM variable

VARIABLES	MODEL 5 EP	MODEL 6 EC	MODEL 7 ET	MODEL 8 PTF
LIB	3.78E-05 (2.76E-05)	4.74e-05* (2.67E-05)	0.000124*** (4.03E-05)	0.000168*** (5.82E-05)
TRF	-0.000121** (4.84E-05)	0.000423*** (4.83E-05)	0.000348*** (7.07E-05)	5.38E-05 (1.02E-04)
TRV	-0.000291 (2.13E-04)	0.00177*** (2.07E-04)	0.00249*** (3.11E-04)	0.000923** (4.50E-04)
GDP	1.05e-06** (5.01E-07)	-3.71E-07 (4.89E-07)	2.08e-06*** (7.32E-07)	-6.09e-06*** (1.06E-06)
DSP	8.96E-05 (8.99E-05)	0.000124 (8.83E-05)	9.15E-05 (1.31E-04)	0.00127*** (1.90E-04)
TDEN	-3.43E-07 (1.22E-06)	-2.69e-06** (1.18E-06)	1.01E-06 (1.77E-06)	8.11e-06*** (2.58E-06)
TSRUC	-0.236*** (8.84E-02)	-0.150* (8.57E-02)	-1.386*** (1.29E-01)	-0,143 (1.87E-01)
SUPERF	2.68E-08 (4.83E-08)	-8.24e-08* (4.67E-08)	-4.47e-07*** (7.05E-08)	4.18e-07*** (1.02E-07)
PLE	-0.00462 (3.65E-02)	-0.147*** (3.55E-02)	-0.0289 (5.32E-02)	-0.187** (7.70E-02)
PMaF	-0.234** (9.95E-02)	0.034 (9.62E-02)	-0.637*** (1.45E-01)	0.478** (2.10E-01)
PMaV	0.615** (2.61E-01)	-1.121*** (2.53E-01)	1.792*** (3.81E-01)	0,663 (5.51E-01)
PMF	1.88E-05 (9.67E-05)	-2.91E-05 (9.35E-05)	0.000584*** (1.41E-04)	8.05E-05 (2.04E-04)
PMV	-0.000790*** (2.98E-04)	-0.000569* (2.92E-04)	-0.00196*** (4.36E-04)	-0.000168 (6.30E-04)
TREND	-0.00139 (1.76E-03)	-0.00633*** (1.70E-03)	-0.00830*** (2.56E-03)	-0,0061 (3.71E-03)
CONSTANT	1.165*** (6.46E-02)	0.843*** (6.29E-02)	1.460*** (9.44E-02)	0.671*** (1.37E-01)
σ_ε	0.0500*** (2.61E-03)	0.0483*** (2.51E-03)	0.0729*** (3.80E-03)	0.105*** (5.50E-03)
Observations	185	185	185	185
Right censor	1	1	1	1
Left censor	1	1	1	1
Prob>Ch2	0.000	0.000	0.000	0.000
Wald Chi2 (14)	66.66	184.23	154.97	138.49
Log-likelihood	288.730	296.215	219.656	150.679
Note: Standard deviations in parentheses				
*** significant to 1 %, ** significant to 5%, * significant to 10%				

Table 4-8: Results of variance inflation factor (LIB and COM)

VARIABLES	VIF	SQUARE ROOT OF VIF	TOLERANCE = 1/VIF	SQUARE ROOT
COM	4.37	2.09	0.2289	0.7711
LIB	4.77	2.18	0.2098	0.7902
TRF	1.56	1.25	0.6424	0.3576
TRV	4.15	2.04	0.2407	0.7593
GDP	2.69	1.64	0.3714	0.6286
DSP	2.61	1.62	0.383	0.617
TDEN	2.91	1.71	0.3438	0.6562
TSTRUC	2.81	1.68	0.3553	0.6447
SUPERF	2.99	1.73	0.335	0.665
PLE	2.12	1.46	0.471	0.529
PMV	2.17	1.47	0.461	0.539
TREND	2.13	1.46	0.4687	0.5313
AVERAGE	2.94			

Table 4-9: TOBIT model with control of LIB and COM variables

VARIABLES	MODEL 9 EP	MODEL 10 EC	MODEL 11 ET	MODEL 12 PTF
COM	-5.82E-06	-9.20e-05*	3.65E-05	0.000199**
	(4.50E-05)	(4.72E-05)	(7.29E-05)	(9.63E-05)
LIB	4.85E-05	0.000115***	9.46E-05	8.28E-07
	(3.82E-05)	(4.00E-05)	(6.19E-05)	(8.18E-05)
TRF	-0.000196***	0.000346***	4.49E-05	0.000227**
	(4.15E-05)	(4.39E-05)	(6.72E-05)	(8.88E-05)
TRV	-0.000318*	0.00132***	0.00248***	0.000854**
	(1.74E-04)	(1.82E-04)	(2.83E-04)	(3.74E-04)
GDP	1.16e-06**	-1.13E-07	2.52e-06***	-5.76e-06***
	(5.23E-07)	(5.48E-07)	(8.47E-07)	(1.12E-06)
DSP	0.000137*	0.000167*	5.62E-05	0.00109***
	(8.15E-05)	(8.58E-05)	(1.32E-04)	(1.75E-04)
TDEN	1.13E-07	-3.86e-06***	2.90E-06	1.03e-05***
	(1.21E-06)	(1.27E-06)	(1.96E-06)	(2.61E-06)
TSRUC	-0.0514	-0.164**	-0.740***	-0.390***
	(6.39E-02)	(6.73E-02)	(1.04E-01)	(1.37E-01)
SUPERF	3.33E-08	-8.68e-08**	-2.52e-07***	4.27e-07***
	(3.59E-08)	(3.75E-08)	(5.82E-08)	(7.73E-08)
PLE	-0.0435	-0.113***	-0.103*	-0.158**
	(3.36E-02)	(3.53E-02)	(5.45E-02)	(7.20E-02)
T	-0.000673	-0.00563***	-0.00437	-0.00882**
	(1.76E-03)	(1.84E-03)	(2.85E-03)	(3.77E-03)
CONSTANT	1.015***	0.797***	1.095***	0.979***
	(4.98E-02)	(5.29E-02)	(8.08E-02)	(1.07E-01)
σ_ε	0.0520***	0.0544***	0.0843***	0.111***
	(2.71E-03)	(2.83E-03)	(4.39E-03)	(5.82E-03)
Observations	185	185	185	185
Right censor	1	1	1	1
Left censor	1	1	1	1
Prob>Ch2	0.000	0.000	0.000	0.000
Wald Chi2 (11)	51.58	139.77	100.61	117.8
Log-likelihood	281.192	273.984	192.480	140.334
Note: Standard deviations in parentheses				
*** significant to 1 %, ** significant to 5%, * significant to 10%				

Conclusion of chapter 4 and implications for public policies

The goal of this chapter is to analyse the impact of competitive dynamics and the degree of liberalisation on railway performance. Four indicators were used to evaluate performance: productive efficiency, commercial efficiency, technical efficiency, and variation in total factor productivity (productivity gains).

It should be recalled that productive efficiency measures the ability of railways to transform their inputs into outputs (trains-km), while commercial efficiency measures the ability to transform trains-km (passengers and freight) respectively into passenger-km and ton-km. Finally, technical efficiency measures the capacity to transform inputs directly into passenger-km and ton-km.

As indicators of intra-modal competitive dynamics and the degree liberalisation, we used the COM and LIB variables respectively, published by IBM and Kirchner in 2004, 2007, and 2011. Measured by the LIB index, the intensity of barriers to entry is evaluated both on legal and operational barriers that is law in book and law in action. The COM variable measures competitive dynamics mainly on the basis of the market shares of new inputs, the number of external operators to the historic operator and on the basis of the evolution of the modal share of iron. These variables are quite important since they help to quantify the degree of liberalization of railway activities.

To evaluate the impact of the liberalization of railway activities on railway performance, we used the maximum likelihood technique to estimate a Tobit model because it is part of the class of censored models that are generally used to describe a relationship between a censored dependent variable and one or more independent variables. We chose this model because the values of performance indicators are limited in the 0 and 1 interval.

For each performance measurement indicator, three Tobit models were estimated. In the first, the COM variable was introduced as an explanatory variable while in the second variable, the LIB variable was introduced as an explanatory variable. Finally, in the third model, the two variables, COM and LIB were introduced as explanatory variables. In each model, we used the Student's test statistic to test the hypothesis that the COM variable (respectively the LIB variable) has an effect on the indicator of performance measurement.

This methodology was applied to a sample of 17 companies observed between 2001 and 2011, a period chosen because the variables to be tested (COM and LIB) were only published in 2002, 2004, 2007 and 2011. The missing data were replaced using the arithmetic means of the observations published.

The analysis of control variables shows that the level of inefficiency of railway companies is not only due to managerial errors imputable to managers or inadequate productive structures, but can also be influenced by the structural environment specific to each country. The results show that the capacity utilization rate represented by the TRV variables (number of passenger by train) and the TRF (number of tons by train) has a positive effect on both commercial efficiency and technical efficiency. In the same vein, it can be observed that the GDP has a positive effect on both productive efficiency and technical efficiency. However, it has a negative effect on productivity gains. Other determinants of performance include traffic density, which has a positive impact on productivity gains and traffic patterns, showing that a company that specializes solely in passenger transport is less efficient than a company that specializes in freight transport business. The market share indicators show that intermodal competition in the passenger transport sector has a positive effect on performance indicators.

In our approach, we primarily estimated the effect of intra-modal competitive dynamics on performance. The results obtained show that the competition dynamics have a positive effect on commercial efficiency, technical efficiency and finally, on productivity gains. However, it has no effect on productivity efficiency. Secondly, we evaluated only the effects of liberalisation. By virtue of the results obtained, we can say that the level liberalisation has a positive impact on the commercial efficiency, a positive impact on the technical efficiency and a positive impact on productivity gains.

Finally, in a third approach, we introduced the COM and LIB variables in a single and unique model. After controlling the problem of multi-collinearity, the results showed that the intra-modal competitive dynamics has a positive effect only on productivity gains while the degree of openness to competition has a positive effect only on commercial efficiency. It is therefore all of these results that make us to doubt the real effects of liberalization on the performance of companies.

Are we really moving towards an integrated railway space? Our results show that this goal is far from being achieved since there is a low speed of convergence of performances and moreover, the railway systems are quite different. Thus, Desmaris (2014) shows that in

Switzerland, more performance is possible without competition. This progress is due to the nature of public governance and its impact on actors' game. As part of a decentralization of public orders, the public authorities imposed ambitious goals associated with severe financial constraints on operators. This new system therefore enabled railway companies to achieve significant productivity gains thanks to profound managerial and technical innovations.

Our results challenge the ambitions of the European Commission for the creation of a European railway space. We cannot say that the European railway space is homogeneous since the contexts and practices differ greatly from one country to another. Similarly, we cannot truly say that railway liberalization can increase railway performance because the results show that the most advanced countries in terms of liberalization are not necessarily the best performers.

Given that the creation of a European railway space seems difficult or even impossible, this study recommends that the transposition of the European Commission's directives into national law be based on the economic characteristics of each State, with the role of the latter remaining crucial in the establishment of an environment that is more or less conducive to railway performance.

General conclusion

This thesis aimed at assessing railway performances and analyzing the impact of market opening and competitive dynamics on the performances of European railway systems. Within the framework of our research, we make use of tools mostly borrowed from econometrics and financial analysis. Four indicators were selected to assess railway performances, productive, commercial and technical efficiency and total factor productivity. The conclusion comprises the following sections: summary of key results (1), contribution of the thesis (2) limits and extensions of the scope of the study (3).

1. Summary of key results

Does this thesis provide answers to our original research questions and have our working hypotheses been confirmed?

In the first chapter, we used financial analysis tools particularly comparative analysis tools to assess the performances of four European railway companies: DB in Germany, SNCF in France, RENFE in Spain and FS in Italy from 1990 to 2012. The two-fold purpose of this research was to establish an overview of the current situation and reveal the means used by the main European railway companies during the period before the railway reforms designed by the European Commission. The comparative analysis approach is mainly based on calculation of partial productivity measurement indicators. The selected indicators enabled us assess four domains of performance: productive performance, commercial performance, economic performance and financial performance.

This study shows that the global rail service conceals a sharp contrast between the progress of passengers and freight: +33.5 % for the first one, against -37% for the second. The staff productivity greatly improved between 1990 and 2012, as well as loading freight rates. The structure of operating expenses shows a strong trend to outsource production. The operating ratio reveals that railway transport is still an unprofitable activity though the exploitation revenues can cover now the operating expenses. This sector is also characterized by a massive debt and a strong dependency on external funders that has generally increased.

On the basis of these indicators and of the means used by these four main European companies, the situation is the contrary nowadays. Companies' performances are better on average than in 1990 yet we are still a long way from the ambitions fostered by the European Commission, that of a real renewed railway industry in Europe.

Admittedly, the study is based on a small sample of railway operators that does not include new entrants whose performances could be quite different. Regarding On the basis of the sole historical railway operator's situation, an appraisal of railway performances of each country could not be done. Regarding this limit, we analyze in the following chapters performances not of a company but at the level of a country.

Chapter 2 addressed the theoretical framework of railway performances analysis. We highlighted the productive inefficiency theoretical basis and major tools that mat be used to assess the companies' performances. We focused on LeibensteinX inefficiency (1966). According to supporters of this theory, a company's productive inefficiency may mostly be based on efforts depending on the motivation level in force in the company.

Two major groups of models are generally used to assess companies' performances: parametric frontier models and non-parametric frontier models. Each group of model has its advantages and disadvantages. For this research, we used the parametric approach particularly the stochastic frontier model and we presented a non-exhaustive review of empirical studies. Thanks to this literature review, we realize that the issue of assessing railway performances is not new at all. Several researchers and professionals have worked on the subject. Through the same literature review, we also realized that the results of an assessment of railway companies' performances depend on many factors including: the model to be evaluated, the evaluation method and data quality or the sample used.

The third chapter gives worthy empirical contributions of railway performances. In this chapter, we assessed, compared and explained performance gaps of some European Union countries. We focused on four performance indicators: productive efficiency, commercial efficiency, technical efficiency and unsteadiness of total productivity factors. The methodology used also enabled us divide the unsteadiness of total productivity factors into three components: variation of technical progress, variation of productive efficiency or technical efficiency and the variation of the scale efficiency.

Thus, we jointly estimated three parametric and stochastic frontiers namely an input oriented production frontier, a consumption frontier and a technical efficiency input oriented frontier. As regards production technology, we selected the Translog function.

This methodology was applied on a sample of some European Union countries between 1997 and 2001. This sample is made up of four Western European countries (Austria, Germany, Belgium and France), six Eastern European countries (Bulgaria, Hungary,

Poland, Czech Republic, Slovakia and Romania), four Southern European countries (Spain, Italy, Portugal and Slovenia) and three Northern European countries (Denmark, Finland and Sweden). This sample has a twofold advantage since it is quite varied regarding both the practices and the environment in which railway companies operate.

As concerns the whole sample, annual medium efficiency scores for productive efficiency, commercial efficiency and technical efficiency are 89.08%, 86.90% and 85.16% respectively. The average of productivity gains is estimated at 0.7%, 0.9% for the technical progress variation average, -0.11% for the average of the scale efficiency variationand0.12% for technical efficiency variation average.

On the one hand, these figures reveal that in average, production inputs in the railway industry are used in inaccurate ratios and on the other hand there is a mismatch between supply and demand. A comparison has been done between regions of this sample and it appears that the performances of Western European countries are above those of the other regions.

Performances of the Western region are the following: 90.72% of productive efficiency, 83.74% of commercial efficiency, 88.58% of technical efficiency and 11% of productivity gains. Average performances of Eastern European countries are as follows: 86.94% of productive efficiency, 88.51% of commercial efficiency, 79.89% of technical efficiency and 5% of productivity gains. For Southern European countries, we noted 89.53% of productive efficiency, 86.95% of commercial efficiency, 87.79% of technical efficiencyand-5% of productivity gains. Lastly, Northern European countries recorded 90.60% of productive efficiency, 87.77% of commercial efficiency, 87.65% of technical efficiencyand-12% of productivity gains.

The analysis of productivity gains determinants shows that the change in global productivity is an affine and increasing function of the change in technical progress. Technical progress is therefore the main determinant of productivity gains. This has also been confirmed by the Spearman coefficient correlation that proved to be positive and significant at a 5% threshold. Thus, the most successful countries are those whose change in technical progress is higher. Technical progress may relate to the development of high-speed trains (which experienced a significant evolution between 1997 and 2011) on the one hand and to the electrification of the network on the other hand.

To analyze the convergence of performances, we divided our ample into two groups. The first sample is composed of the most successful countries at the beginning of the period. The absolute β–convergence test has statistically proven to be significant for the whole sample and for the two groups, with a fairly low catch-up speed and a quite long half-life. Therefore efficiency scores coincide with quite a slow speed towards their point of equilibrium formed by the benchmark; thoughσ–convergence andσ–divergence movements are also pointed out.

Lastly, chapter 4 focused on the analysis of the key railway performances determinants. We analyzed particularly the impact of intra-modal competitive dynamics and of liberalization on railway systems performances. This chapter supplements chapter 3 since it provides reasons to justify the performance gaps recorded.

Thus, we used the maximum likelihood technique to estimate many Tobit models. As variables, we used productive efficiency, commercial efficiency, technical efficiency and variation of global productivity factors. These variables were calculated in the former chapter. In each model, we used Student test statisticto test two hypotheses. These hypotheses can be detailed as follows:

Hypothesis 1: competitive dynamics (represented by COM variable) has a significant impact on railway performances.

Hypothesis 2: Railway activities liberalization (represented by LIB variable) has a significant impact on railway performances.

As a control variable, we used the number of passengers per train, the number of tons per train, GDP per capita, population density, the surface area of each country and production structure.

The results recorded call into question the actual impacts of intra-modal competitive dynamics and railway liberalization on railway performances. In fact, when the sole COM variable is introduced in the model, results show that intra-modal competitive dynamics has a positive impact on commercial efficiency, technical efficiency and on productivity gains. However it does not have an impact on productive efficiency. The same results are obtained when the sole LIB variable is introduced in the model. However when the two variables, COM and LIB, are jointly introduced in a model, under control of multi-collinearity, results show that intra-modal competitive dynamics has a positive impact only on productivity gains whereas liberalization has a positive impact only on commercial efficiency. All these results

raise doubts about actual impacts of liberalization and competitive dynamics on companies' performances.

To answer the question if we are moving towards an integrated railway area very soon; our results show that we are a long way from achieving this objective since there is a low convergence speed of performances and moreover, railway systems are quite different. Thus, Desmaris (2014)shows that in Switzerland greater performances are possible without competitivity. These advancements are accountable to the nature of public governance and of its impact on stakeholders. Within the framework of a decentralization of public orders, the authorities imposed ambitious goals coupled with severe financial stringency to operators. This new system therefore enabled the railway companies to achieve significant productivity gains and deep technical and management innovations.

2. Contributions of the thesis

The first contribution is in the use of along series of statistical data, from 1997 to 2011 for econometric evaluation and from 1990 to 2012, for other comparative analysis. Our empirical results are based on the evaluation of a stochastic production frontier. This method is still less used among those that are generally used to assess railway performances.

As second contribution, this thesis is multidisciplinary. It encompasses the additional disciplines as production's microeconomics and econometrics.

As concerns the third contribution, it is one of the rare studies to use an econometric approach to estimate the convergence of railway performances.

3. Limits and extensions of the scope of the study

As in any research work, we faced many difficulties.

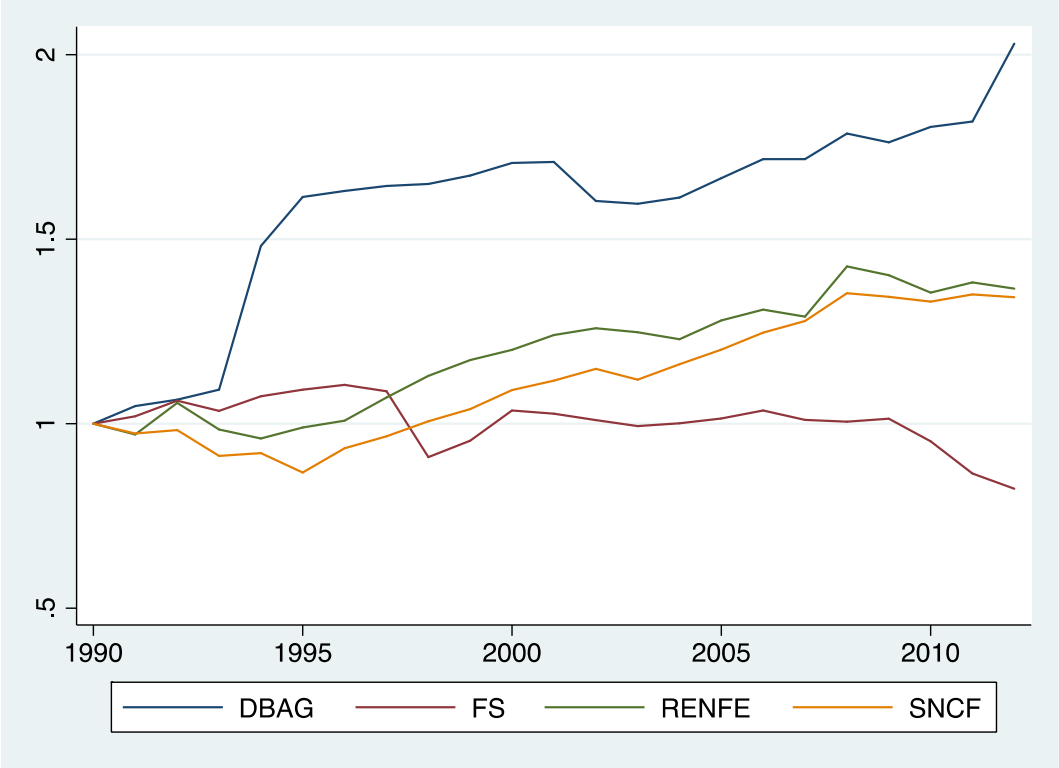
- The performance measurement indicators used do not include qualitative indicators (for instance quality of service, punctuality of trains, conditions for access to railway network) as a result of limited data.
- There are no long-term statistics on financial variables as: the production cost, the amount of subsidies, production factors prices. If these variables are taken into account, the results could be different.
- As we said above, our econometric analysis is based on a sample of 17 European countries from 1997 to 2011. The period is certainly quite long but we think that between 2012 and 2015, some railway networks underwent significant changes. In

France for instance, railway proposal for change (Law of August 4,2014entered into force on January 1, 2015) is marked by the actual creation of the new public railway company SNCF. This head company henceforth ensures the strategic steering of two public companies: infrastructure manager (SNCF Network) and railway operator (SNCF Mobility). In Germany, the rise in power of road transport largely affected the performances of the historical operator.

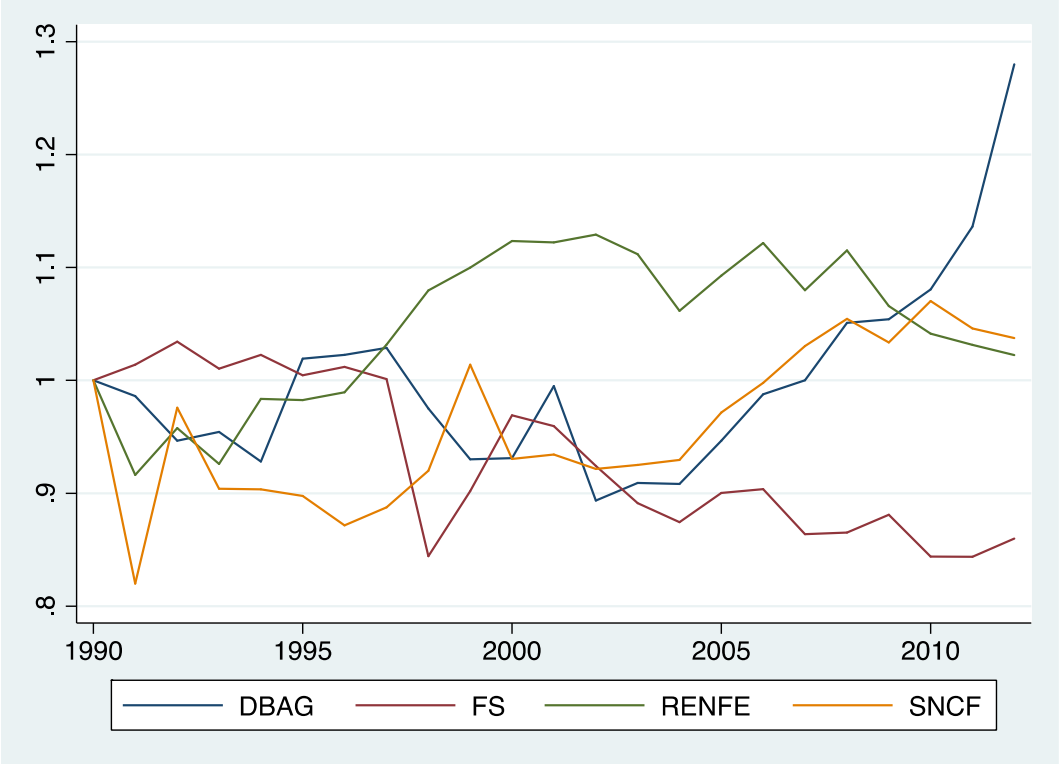
- To do the finishing touches of the unique railway domain, the European Commission published on 30 January 2013, laws comprising of the fourth railway package. It is a package of five laws that comprise the "technical" mainstay (European railway agency, railway interoperability and safety) and the section "market" (actors' governance and opening up of passengers transport competition). The European Parliament has just adopted these Laws. The future studies may take into account this new factor in the performance assessment.

Appendices

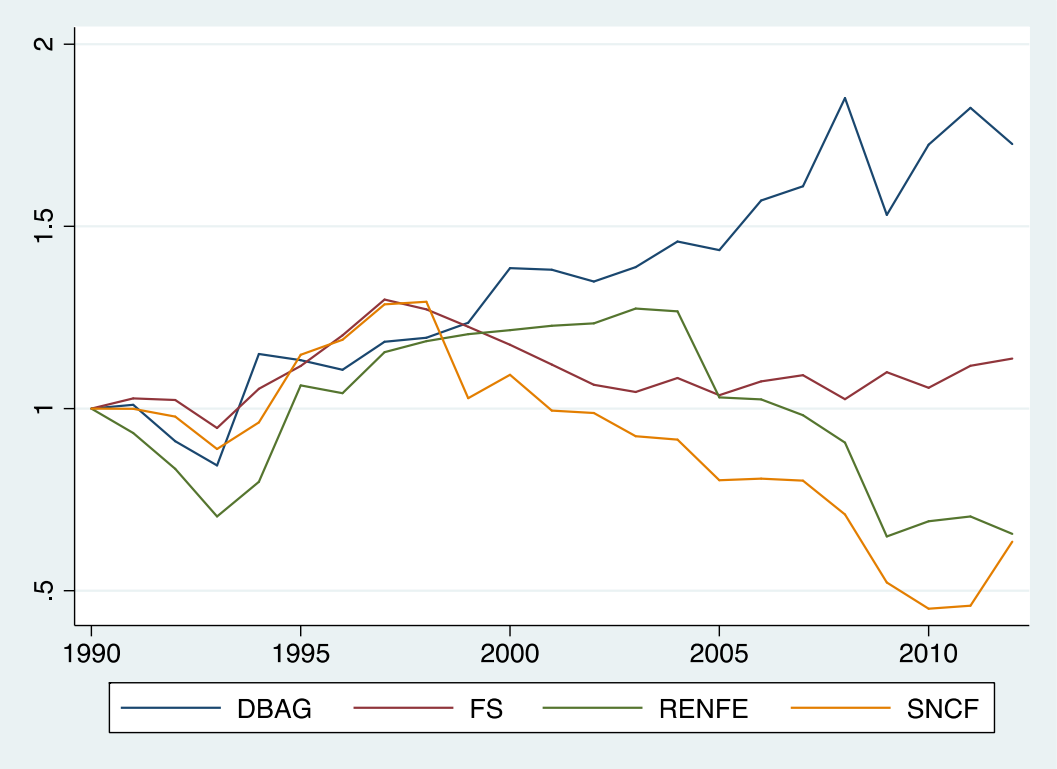
Appendix 1-1: Index of the number of passengers-km



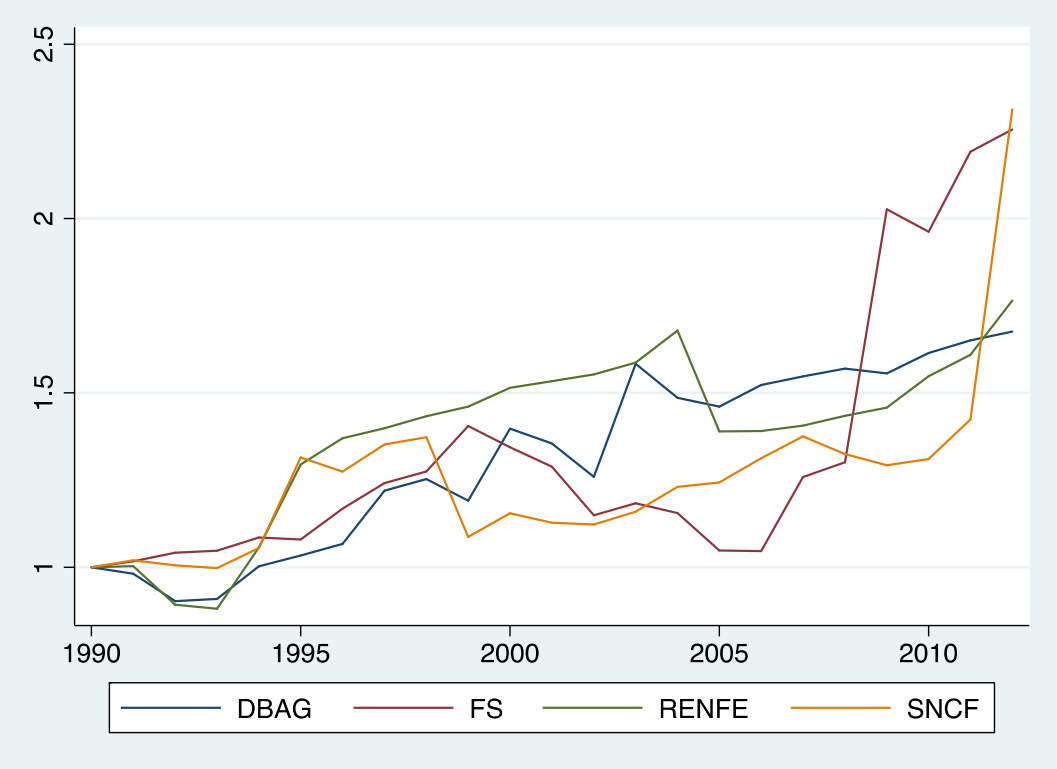
Appendix 1-2 : Index of the number of passengers per train



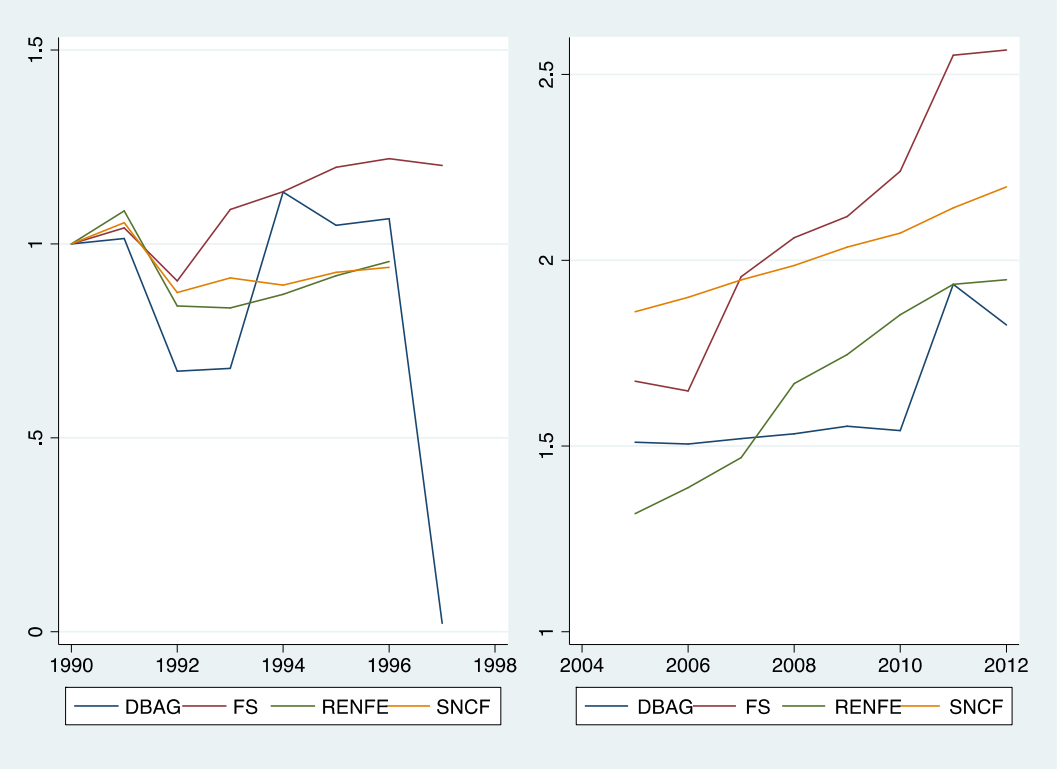
Appendix 1-3: Index of the number of tons-km



Appendix 1-4 : Index of the number of ton per train



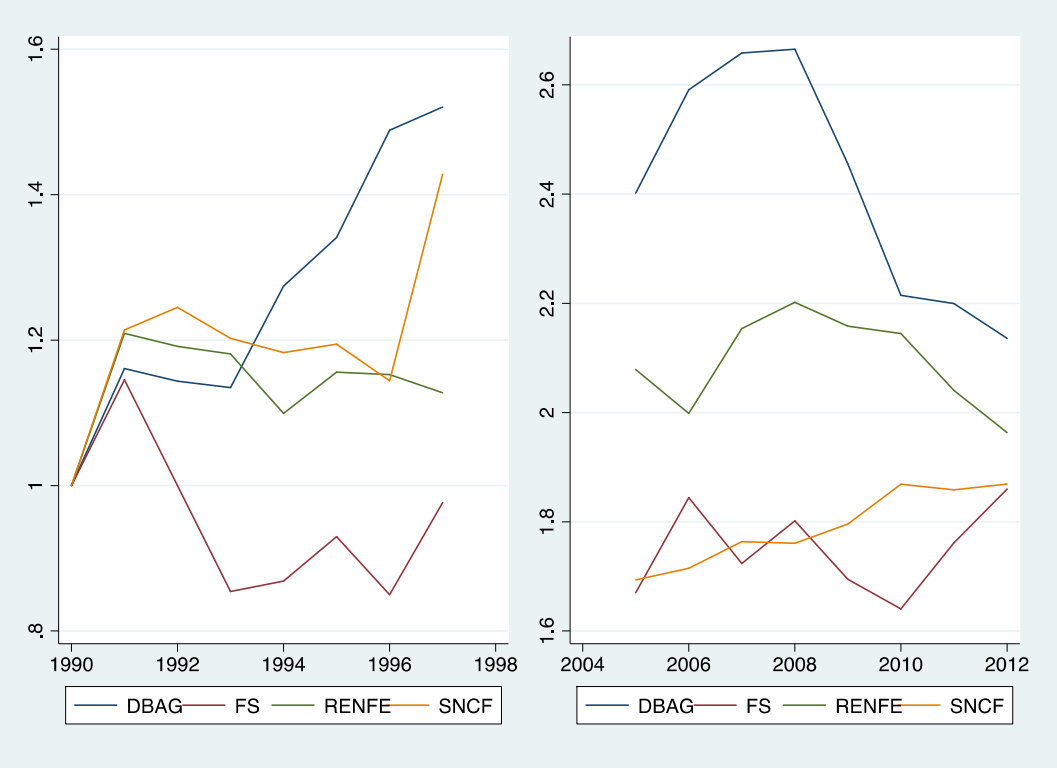
Appendix 1-5: Evolution of the index of average revenue per passenger-km



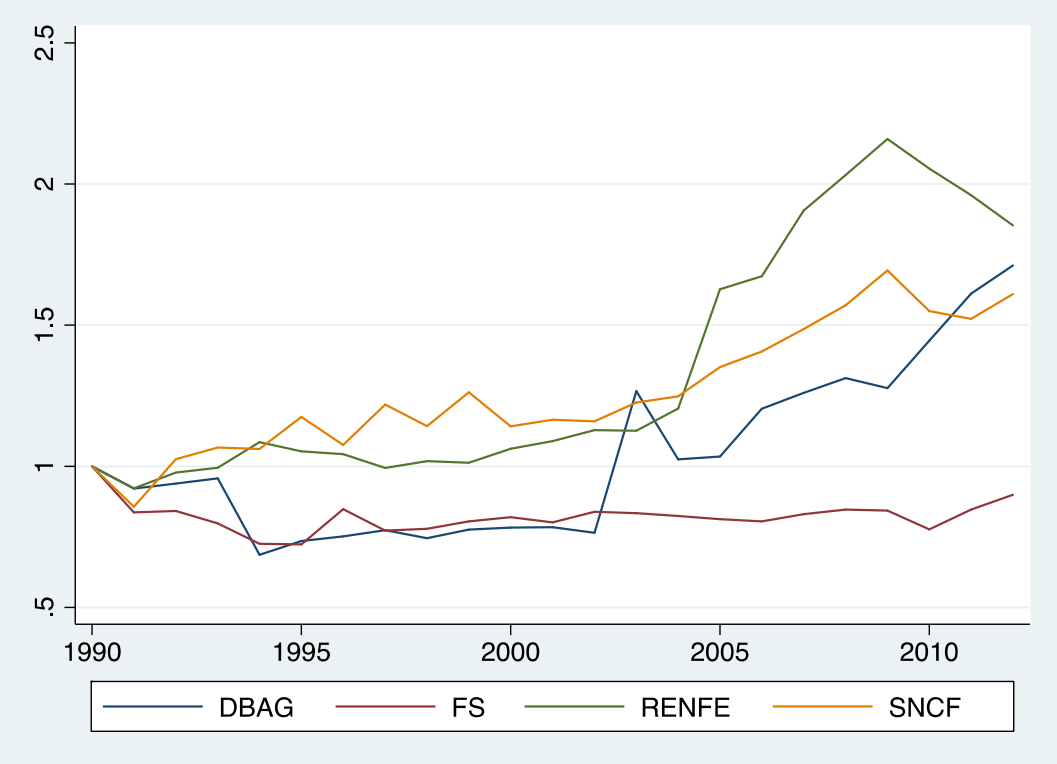
Appendix 1-6 : Index of the staff expense share



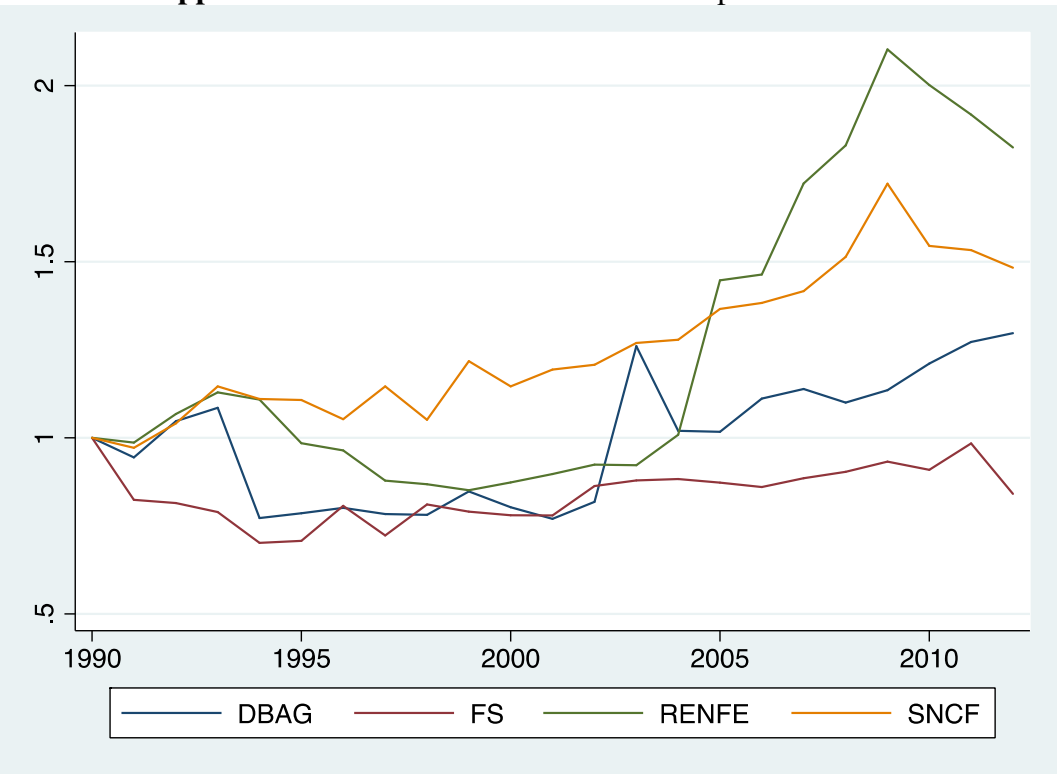
Appendix 1-7: Evolution of the cost share index for external consumption and expenses



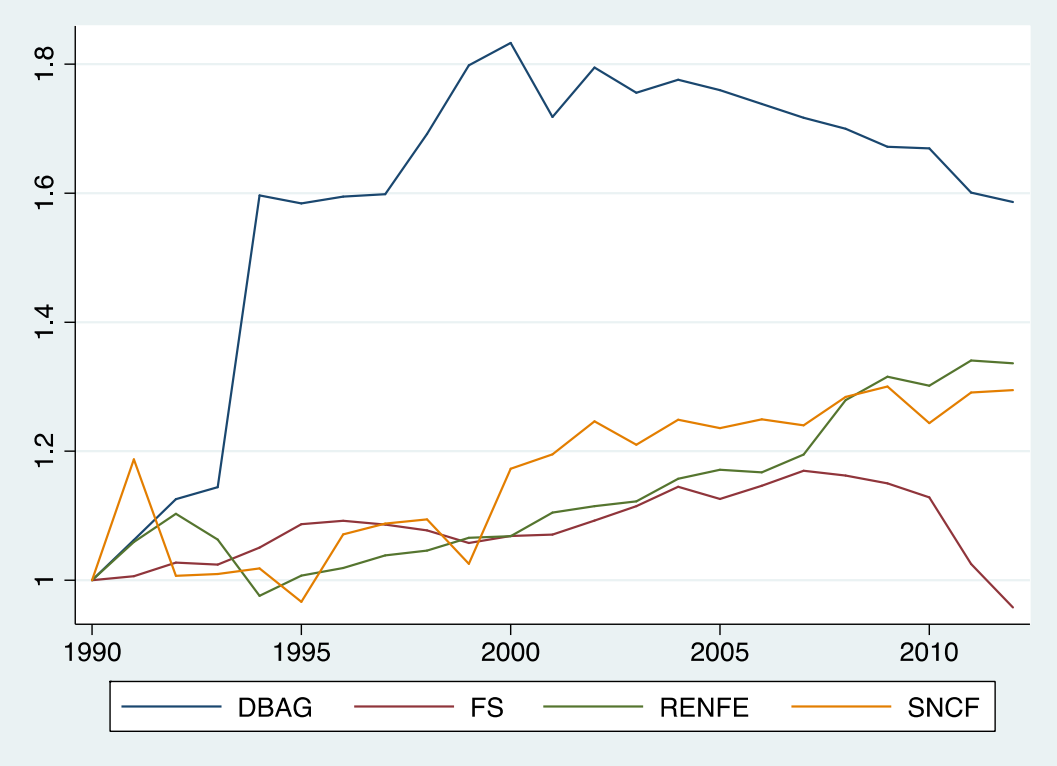
Appendix 1-8 : Evolution of cost index per train-km



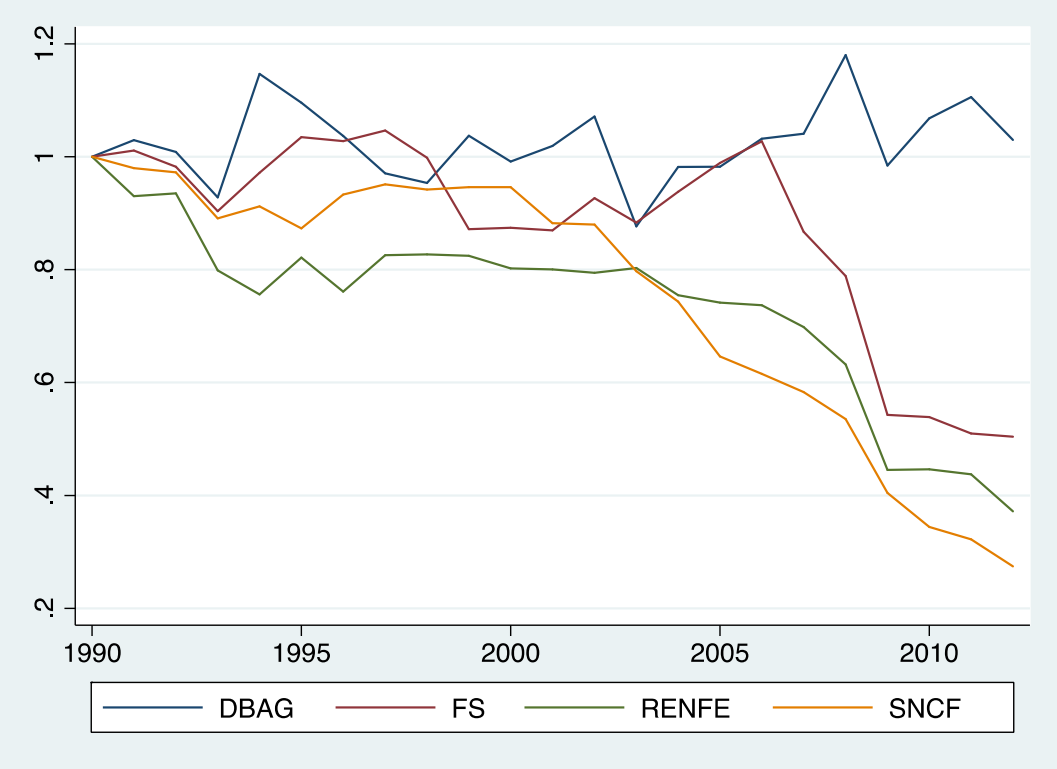
Appendix 1-9 : Evolution of the cost index per traffic unit



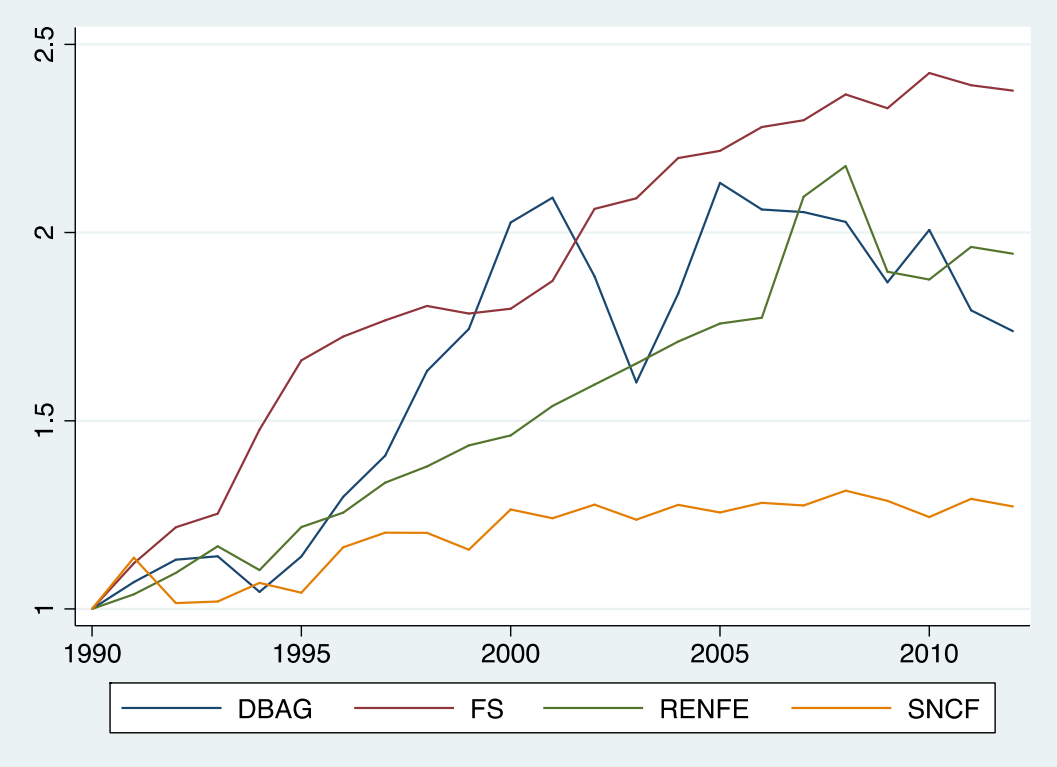
Appendix 1-10 : Evolution of the number of passenger trains-km



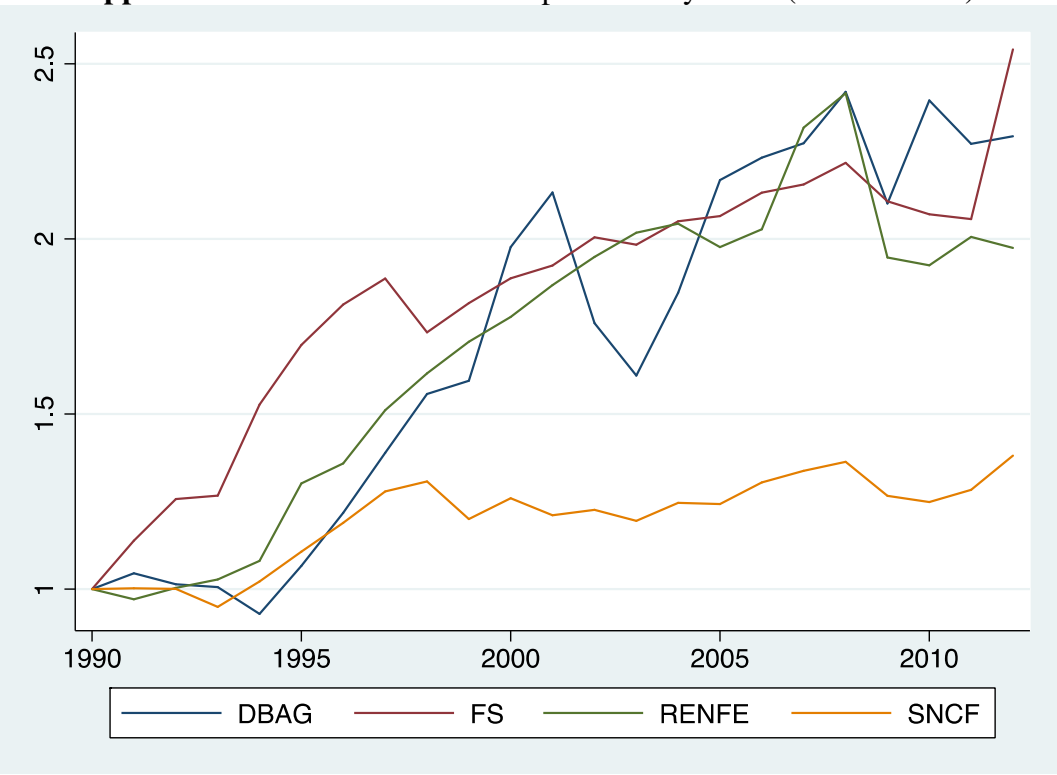
Appendix 1-11: Evolution of the number of freight trains-km



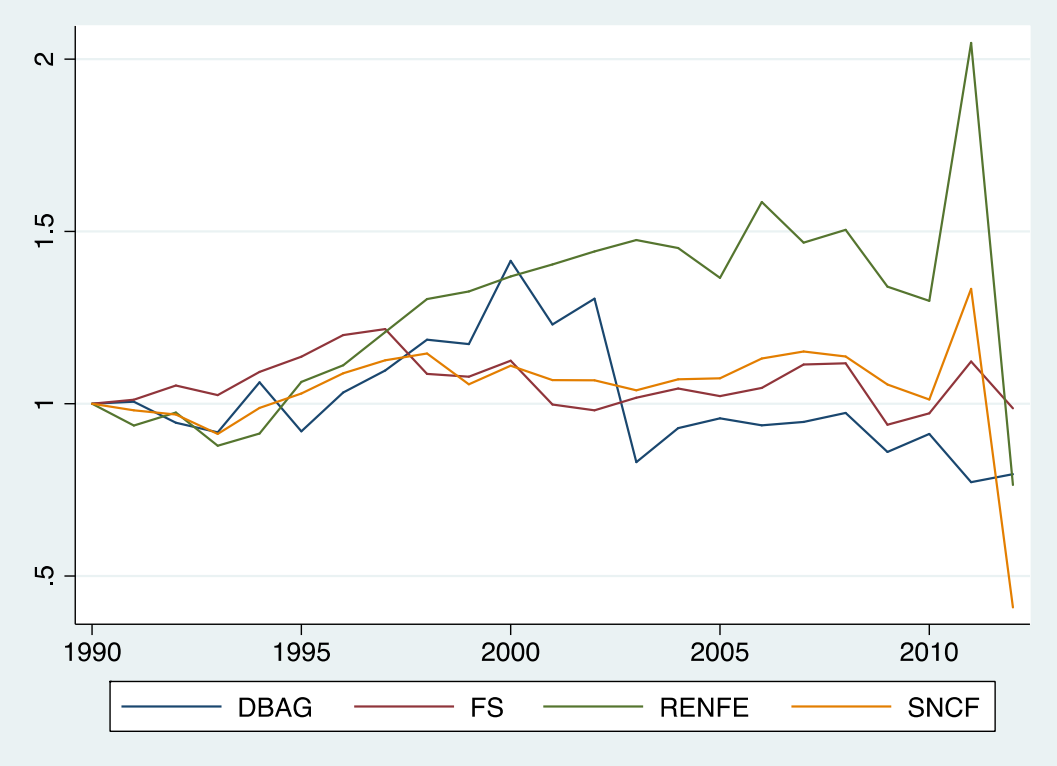
Appendix 1-12: Evolution of the work productivity index (in trains-km)



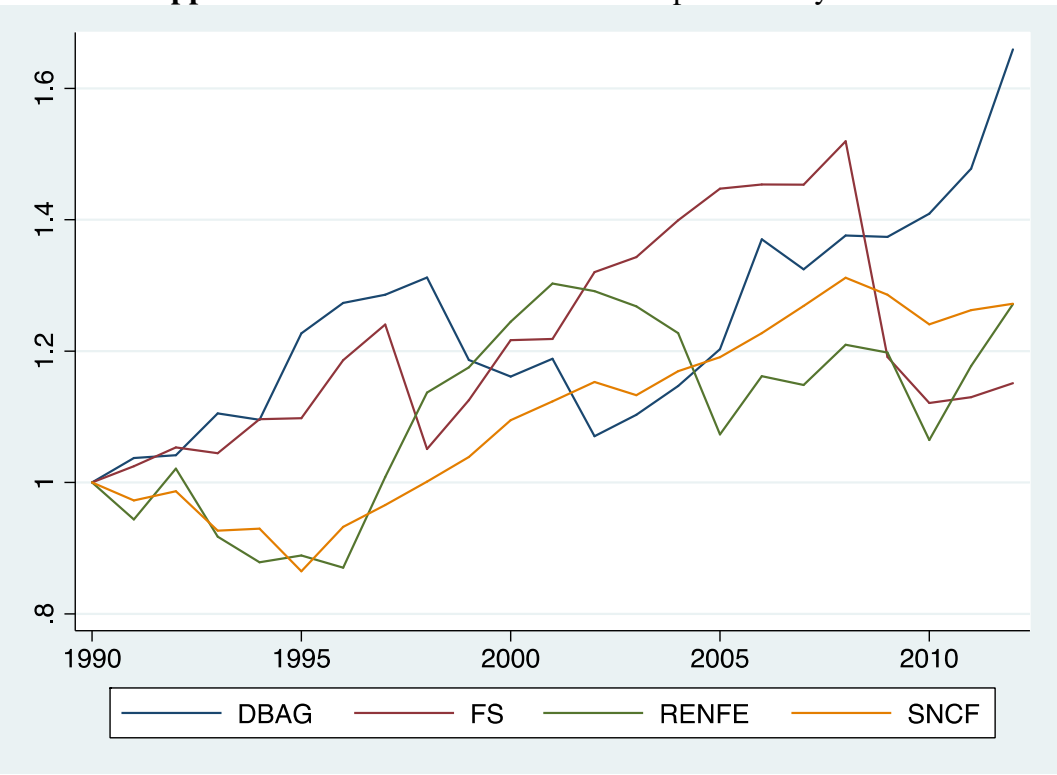
Appendix 1-13: Evolution of labor productivity index (in traffic unit)



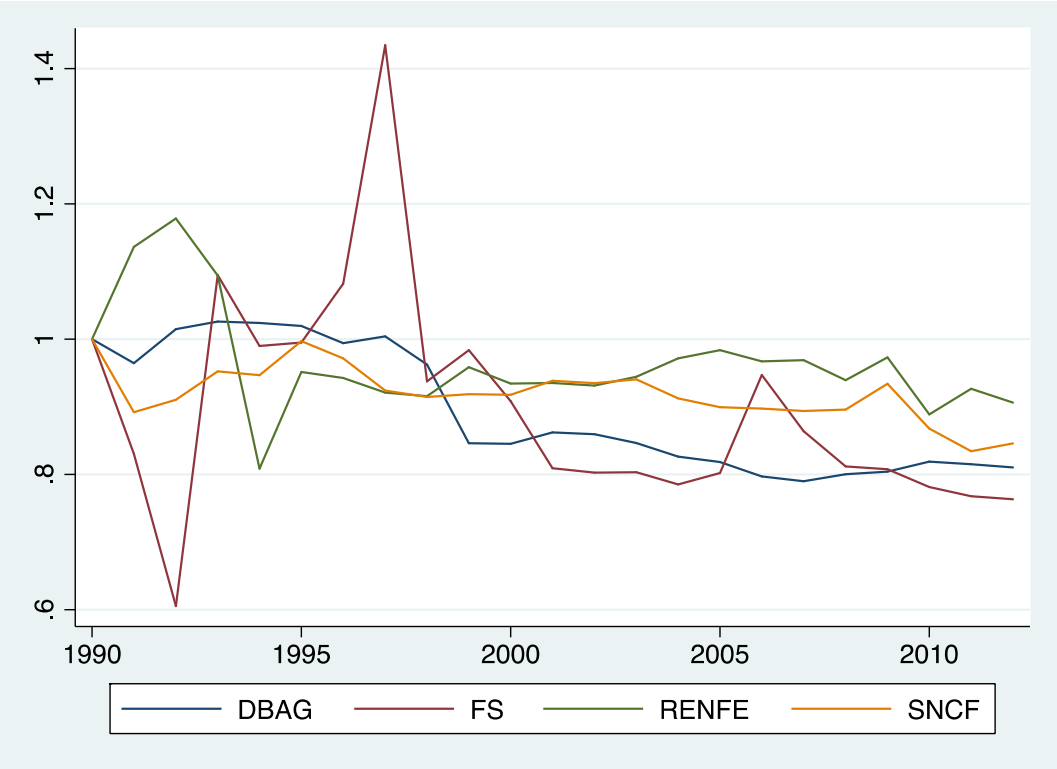
Appendix 1-14: Locomotive productivity index



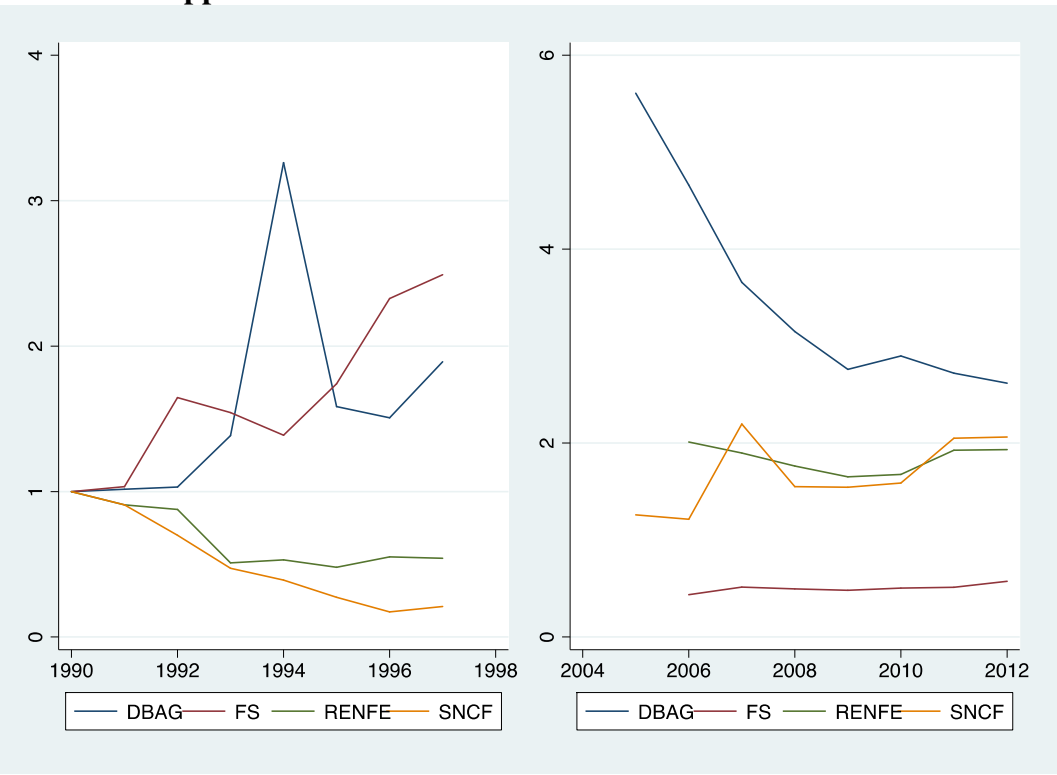
Appendix 1-15 : Evolution of the coach productivity index



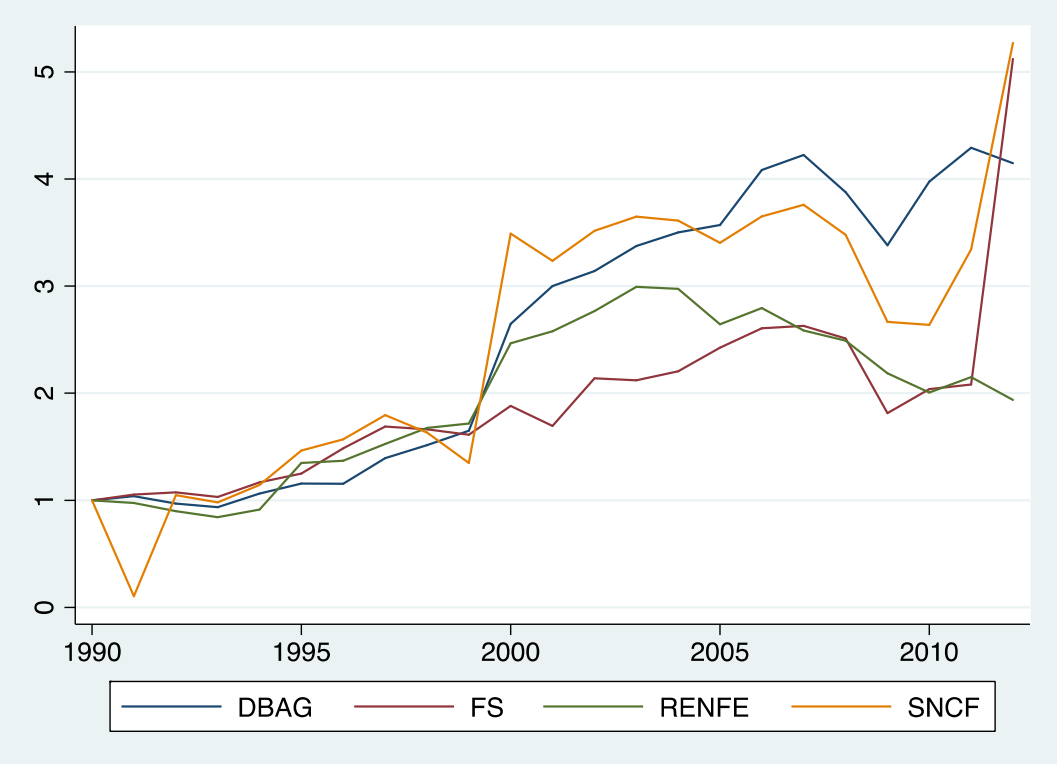
Appendix 1-16 : Evolution of the operating ratio index



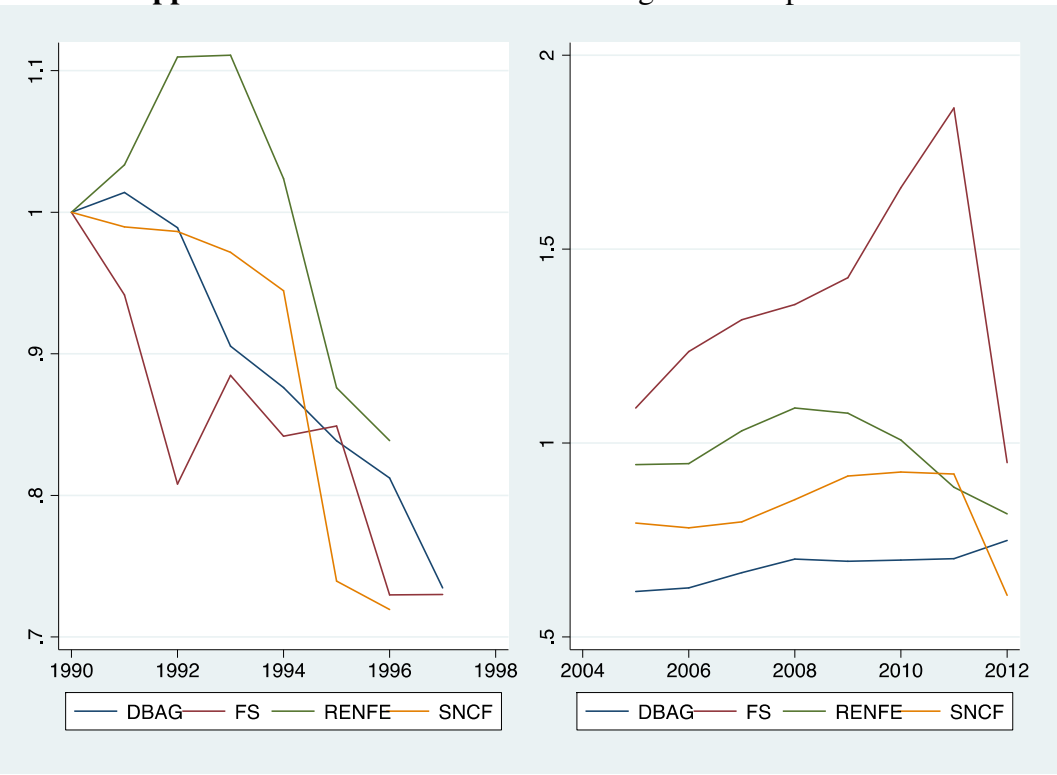
Appendix 1-17 Evolution of the indebtedness ratio index



Appendix 1-18 : Evolution of the productivity index of wagons



Appendix 1-19 : Evolution of the average revenue per ton-km



Appendix 1-20: Comparative test of population per year (average revenue passenger-km)

Year	Obs	Rank sum
2001	1	25
2002	1	34
2003	1	32
2004	1	28
2005	4	53
2006	4	55
2007	4	62
2008	4	66
2009	4	72
2010	4	73
2011	4	82
2012	4	84
Chi-deux= 7.655		
Probability = 0.7438		

Year	Obs	Rank sum
1990	4	61
1991	4	68
1992	4	44
1993	4	53
1994	4	62
1995	4	64
1996	4	69
1997	2	44
Chi-deux= 2.687		
Probability = 0.9124		

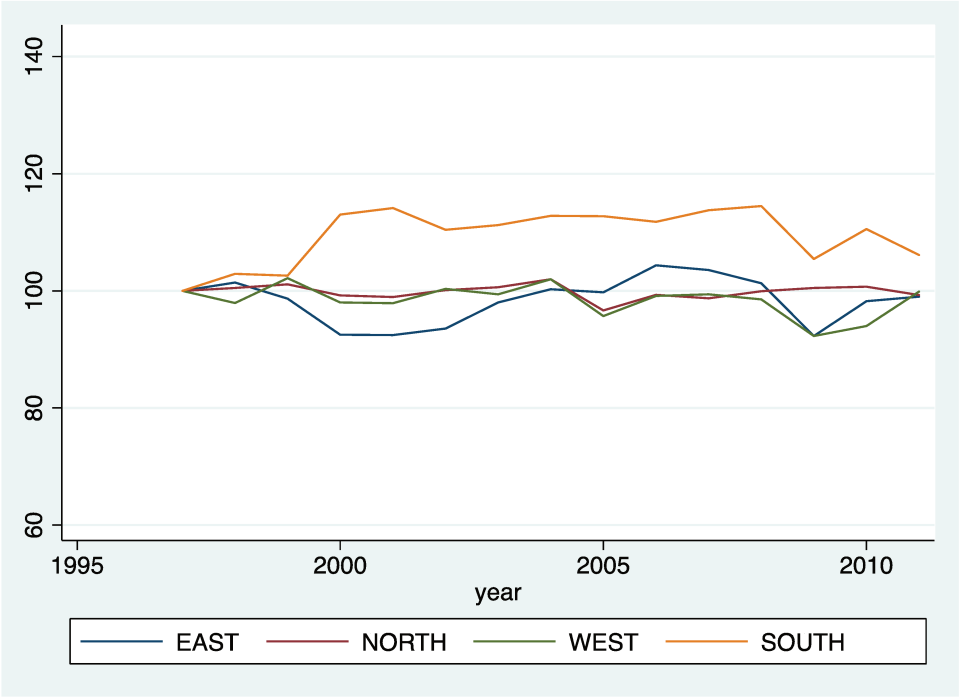
Appendix 1-21: Comparative test of populations per year of the number of tons-km

Year	Obs	Rank sum	Year	Obs	Rank sum
1990	4	169.00	2002	4	194.00
1991	4	170.00	2003	4	193.00
1992	4	159.00	2004	4	198.00
1993	4	147.00	2005	4	179.00
1994	4	171.00	2006	4	187.00
1995	4	196.00	2007	4	186.00
1996	4	202.00	2008	4	178.00
1997	4	213.00	2009	4	173.00
1998	4	215.00	2010	4	167.00
1999	4	208.00	2011	4	179.00
2000	4	209.00	2012	4	183.00
2001	4	202.00			
Chi-squared = 2.515					
Probability = 1.0000					

Appendix 3-22: Descriptive Statistics of Productive Efficiency

PRODUCTIVE EFFICIENCY				
	MEAN	STANDERS DEVIATION	MIN	MAX
Northern				
Denmark	0.9167269	0.0221475	0.8771309	0.9543920
Finland	0.8820440	0.0297795	0.8353484	0.9290276
Sweden	0.9193280	0.0298374	0.8645998	0.9693894
Easthern				
Bulgaria	0.8665615	0.0613431	0.7899631	0.9628029
Czech Republic	0.9285501	0.0264208	0.8814989	0.9657040
Hungary	0.8793994	0.0691511	0.7682208	0.9658342
Poland	0.8656930	0.0441833	0.7663366	0.9399156
Romania	0.8241812	0.1201762	0.6536005	0.9655197
Slovakia	0.8519282	0.0849817	0.6813769	0.9738149
Slovenia	0.9191180	0.0522688	0.7371947	0.9538249
Southern				
Italy	0.8825445	0.0327640	0.8139057	0.9237281
Portugal	0.8764505	0.0830338	0.7136621	0.9644122
Spain	0.9029836	0.0553779	0.7668675	0.9590834
Westhern				
Austria	0.9195612	0.0443790	0.7958918	0.9698043
Belgium	0.9128414	0.0395057	0.8116385	0.9679782
France	0.8818226	0.0289334	0.8140879	0.9157376
Germany	0.9147042	0.0318007	0.8477889	0.9731354

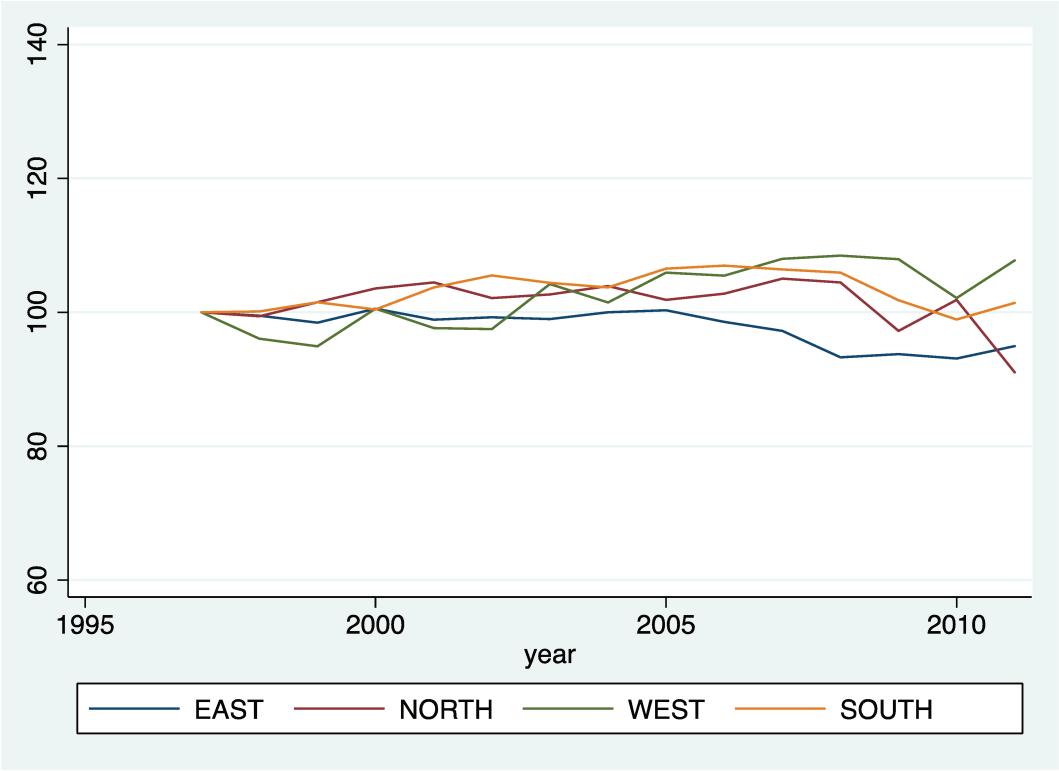
Appendix 3-23: Trend of productive efficiency, base 100= 1997



Appendix 3-24: Total factor productivity change 1 and its components

TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY AND ITS COMPONENTS				
	TC1	TEC1	SEC1	TFP1
Northern				
Denmark	0.810823	1.003058	0.999678	0.812803
Finland	0.861070	1.001000	0.999900	0.861953
Sweden	0.862069	0.995640	0.999679	0.858281
Easthern				
Bulgaria	0.95623	1.00115	1.00408	0.96070
Czech Republic	1.08407	1.00039	1.00045	1.08491
Hungary	0.98688	1.01760	0.99993	1.00413
Poland	1.15344	1.00139	0.99965	1.15465
Romania	1.07685	0.99236	0.99930	1.06794
Slovakia	1.04003	1.00137	1.00267	1.04358
Slovenia	0.83291	0.98404	0.99877	0.81862
Sourthen				
Italy	1.11800	1.00104	0.99875	1.11808
Portugal	0.84252	1.02362	0.99965	0.86169
Spain	0.94272	1.01148	0.99981	0.95351
Western				
Austria	1.00537	1.00107	1.00342	1.00929
Belgium	1.00820	0.99829	0.99975	1.00602
France	1.16596	1.00459	0.99903	1.17021
Germany	1.21678	1.00136	1.00429	1.22447

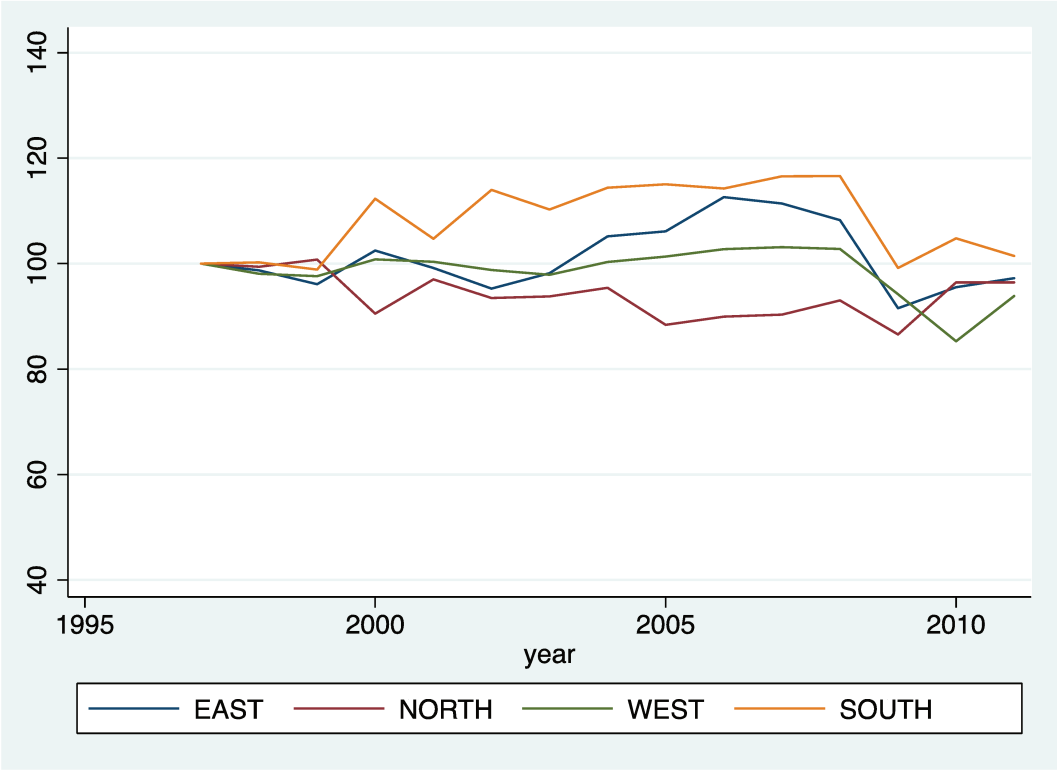
Appendix 3-25: Trend of commercial efficiency, base 100= 1997



Appendix 3-26: Descriptive statistics of commercial efficiency

COMMERCIAL EFFICIENCY				
	MEAN	STANDERS DEVIATION	MIN	MAX
Northern				
Denmark	0.85408	0.08089	0.62834	0.94039
Finland	0.93908	0.00696	0.92556	0.94874
Sweden	0.83987	0.01817	0.81404	0.88065
Eastern				
Bulgaria	0.89243	0.05478	0.79584	0.97053
Czech Republic	0.75159	0.04087	0.67532	0.80333
Hungary	0.88714	0.06408	0.77337	0.95588
Poland	0.93282	0.01369	0.89984	0.95179
Romania	0.93380	0.03451	0.83583	0.98538
Slovakia	0.91271	0.04470	0.78448	0.96155
Slovenia	0.87064	0.03759	0.79919	0.91371
Sourthen				
Italy	0.89303	0.03162	0.84397	0.93409
Portugal	0.91666	0.04352	0.77905	0.97165
Spain	0.79777	0.06219	0.67954	0.87258
Westhern				
Austria	0.69510	0.05722	0.59356	0.78024
Belgium	0.88929	0.05566	0.81066	0.96428
France	0.90592	0.05222	0.78450	0.95804
Germany	0.85935	0.06436	0.70931	0.95272

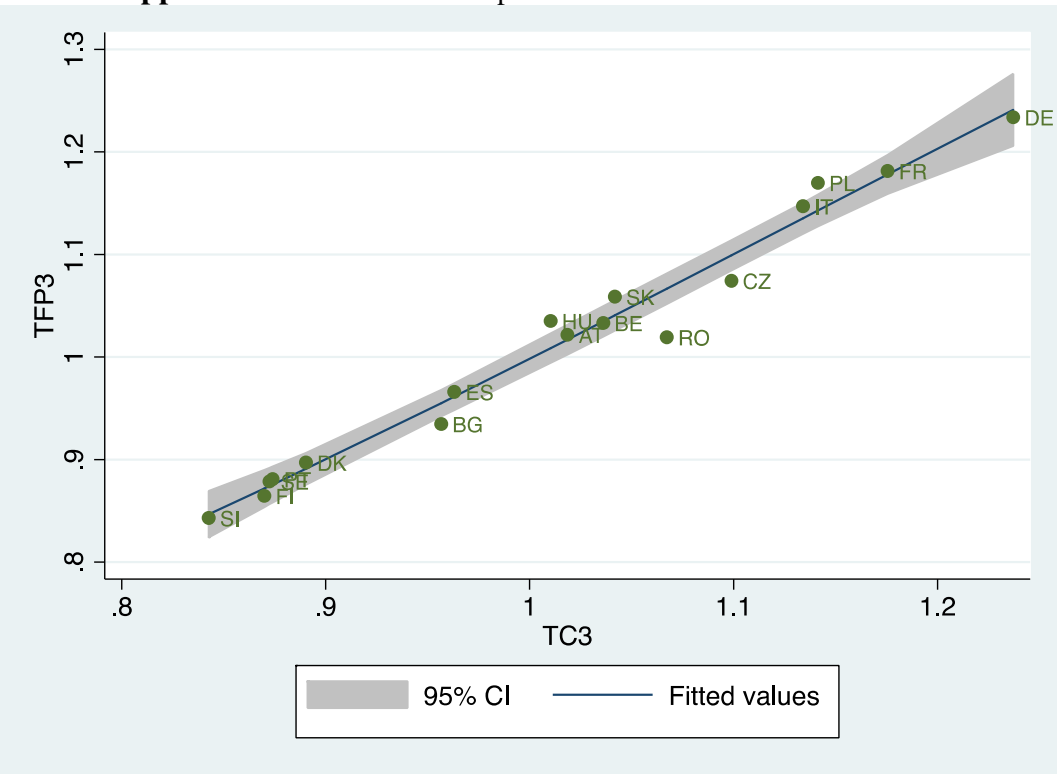
Appendix 3-27: Trend of commercial efficiency, base 100= 1997



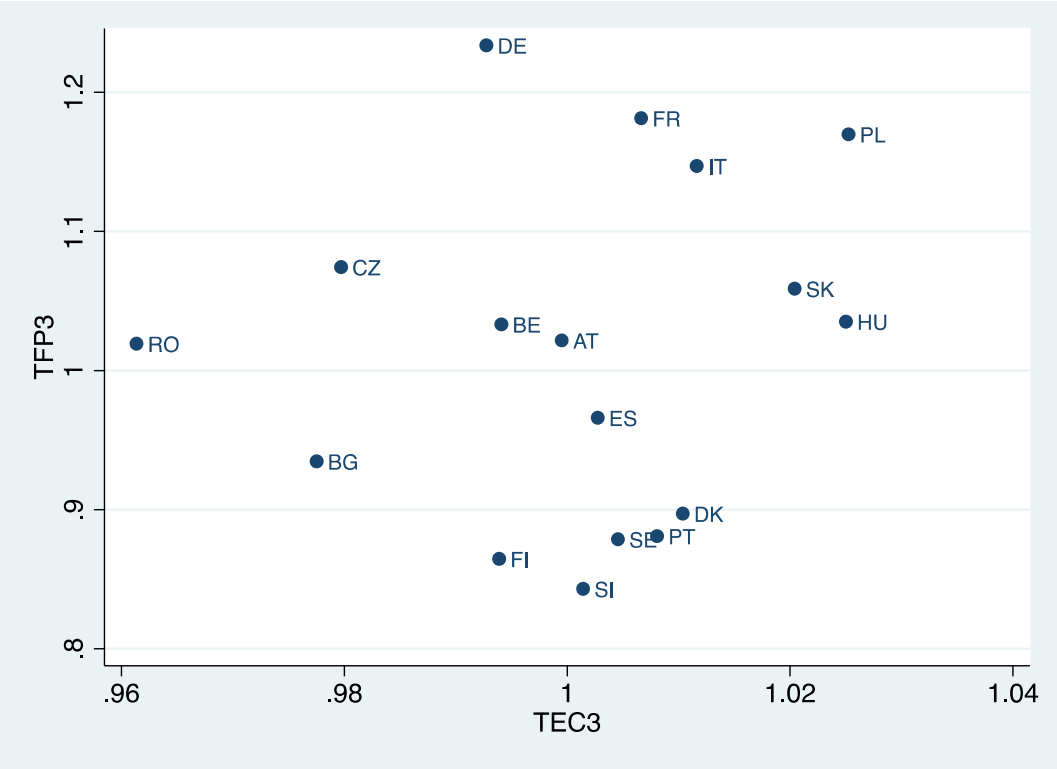
Appendix 3-28: Descriptive statistics of commercial efficiency

TECHNICAL EFFICIENCY				
	MEAN	STANDERS DEVIATION	MIN	MAX
Northern				
Denmark	0.868114	0.093370	0.623950	0.971691
Finland	0.903018	0.040294	0.819802	0.966287
Sweden	0.858475	0.096616	0.658622	0.982543
Easthern				
Bulgaria	0.803103	0.124985	0.580242	0.979458
Czech Republic	0.663070	0.060499	0.551399	0.761162
Hungary	0.846088	0.099383	0.717031	0.982198
Poland	0.860936	0.093260	0.680717	0.982225
Romania	0.774500	0.143904	0.489684	0.942137
Slovakia	0.845501	0.100831	0.641043	0.980797
Slovenia	0.879895	0.071405	0.760482	0.977847
Southen				
Italy	0.892967	0.058007	0.811468	0.964955
Portugal	0.898591	0.074566	0.672160	0.978934
Spain	0.840225	0.113214	0.644112	0.965860
Westhern				
Austria	0.930754	0.033369	0.871681	0.984551
Belgium	0.875808	0.049948	0.756959	0.933236
France	0.912566	0.045268	0.810065	0.973829
Germany	0.824094	0.109383	0.571079	0.958854

Appendix 3-29: Matrix of the performances: TFP3 and TC3



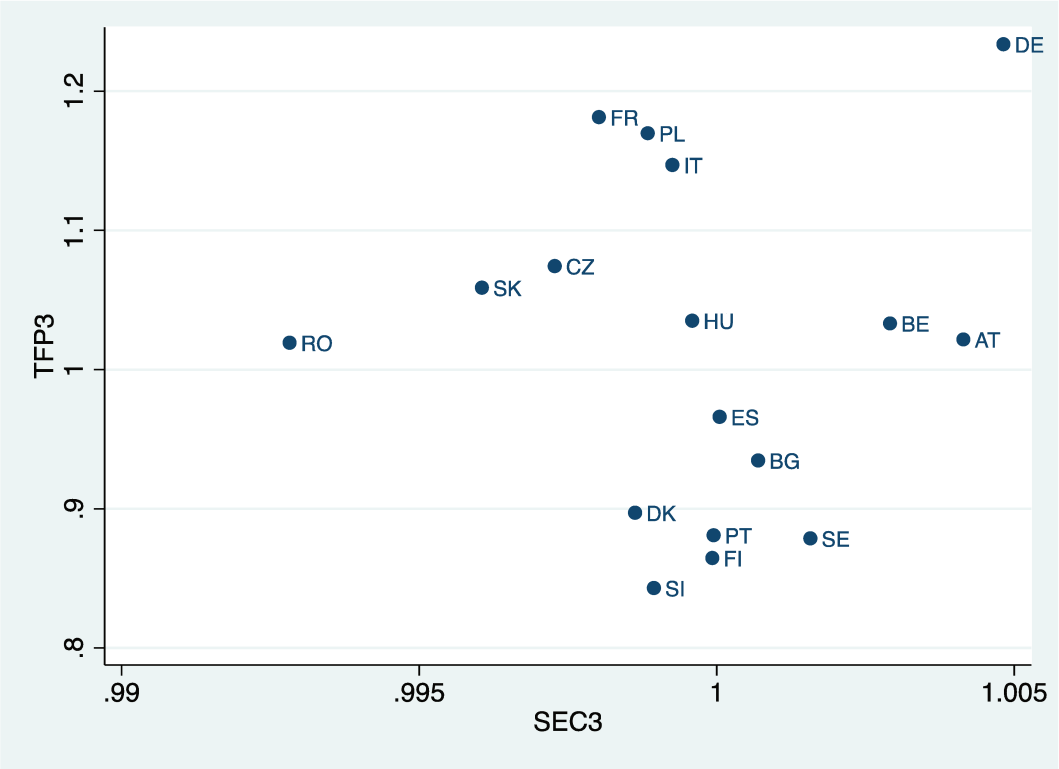
Appendix 3-30: Matrix of the performances: TEC3 and TFP3



Appendix 3-31: Total factor productivity change 3 and its components

TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY AND ITS COMPONENTS				
	TC3	TEC3	SEC3	TFP3
Northern				
Denmark	0.8903125	1.010369	0.9986279	0.8971123
Finland	0.8699081	0.9938911	0.9999254	0.8645969
Sweden	0.8724418	1.004553	1.001573	0.8786875
Easthern				
Bulgaria	0.9566425	0.9775169	1.000696	0.9346718
Czech Republic	1.098959	0.9797104	0.9972779	1.074323
Hungary	1.010313	1.025012	0.9995884	1.035118
Poland	1.141345	1.025242	0.998841	1.169783
Romania	1.067264	0.9613493	0.9928212	1.019283
Slovakia	1.041797	1.020411	0.9960537	1.058836
Slovenia	0.8426713	1.001431	0.9989437	0.8430639
Southern				
Italy	1.134028	1.011623	0.9992544	1.147029
Portugal	0.8739918	1.008063	0.9999476	0.8809431
Spain	0.9630201	1.00274	1.000049	0.9660318
Westhern				
Austria	1.018498	0.9995097	1.004144	1.021648
Belgium	1.036118	0.9940936	1.002912	1.033159
France	1.175503	1.006636	0.9980206	1.181365
Germany	1.237115	0.9927433	1.004817	1.233753

Appendix 3-32: Matrix of the performances: SEC3 and TFP3



Appendix 3-33: Performance determinants

Indicators	Formula	Years	EAST	Variation (%)	NORTH	Variation (%)	WEST	Variation (%)	SOUTH	Variation (%)	Total	Variation (%)
Number of travellers by train mode	VO/POP	1997	12.48	-28.83	16.38	37.45	16.85		10.58		13.75	
		2011	8.89		22.52		24.63	46.17	10.75	1.65	15.43	12.25
Average distance run per capita	VOKM/POP	1997	680.94	-29.47	811.43	30.21	931.40		507.44		722.08	
		2011	480.25		1056.54		1174.82	26.13	511.62	0.82	752.76	4.25
Number of ton per train	TONKM/TRAINKMF	1997	552.26	8.25	462.73	18.55	391.39		331.72		446.72	
		2011	597.80		548.57		605.45	54.69	471.86	42.25	561.28	25.65
Number of passenger per train	VOKM/TRAINKMV	1997	131.07	-35.02	109.35	-4.77	121.83		131.31		125.12	
		2011	85.17		104.13		129.99	6.70	135.88	3.48	111.00	-11.29
Market share for passenger	VOKMFer/VOKMtotal	1997	10.18	-31.87	5.20	40.27	37.00		17.35		17.30	
		2011	6.94		7.29		48.89	32.16	18.68	7.64	19.63	13.50
Market share for freight	TONKMfer/TONKMtotal	1997	23.12	-25.65	10.34	12.42	37.45		10.14		21.18	
		2011	17.19		11.62		43.86	17.12	8.83	-12.94	20.52	-3.15
Passenger hight speed share	VOKM TGV/VOKMfer	1997	0.00	28.50	0.69	156.05	12.74		1.85		6.18	
		2011	0.29		1.77		25.42	99.58	6.00	224.23	10.41	68.28

Appendix 4-34: Values of the marginal effects of models 1 to 4

	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3	MODEL 4
VARIABLES	EP	EC	ET	PTF
COM	3.95E-05	5.14E-05	1.33E-04	1.65E-04
TRF	-1.27E-04	4.14E-04	3.28E-04	2.91E-05
TRV	-2.57E-04	1.82E-03	2.61E-03	1.05E-03
GDP	1.20E-06	-1.76E-07	2.58E-06	-5.39E-06
DSP	8.44E-05	1.19E-04	7.52E-05	1.25E-03
TDEN	-4.27E-07	-2.82E-06	7.10E-07	7.84E-06
TSTRUCT	-2.45E-01	-1.62E-01	-1.42E+00	-1.80E-01
SUPERF	2.96E-08	-7.93E-08	-4.39E-07	4.34E-07
PLE	-6.24E-03	-1.50E-01	-3.50E-02	-1.92E-01
PMaF	-2.47E-01	1.84E-02	-6.79E-01	4.17E-01
PMaV	5.64E-01	-1.19E+00	1.62E+00	4.47E-01
PMF	-1.27E-05	-6.86E-05	4.81E-04	-5.92E-05
PMV	-8.08E-04	-5.92E-04	-2.02E-03	-2.39E-04
TREND	-9.00E-04	-5.75E-03	-6.78E-03	-3.74E-03

Appendix 4-35 : Values of marginal effects of models 5 to 8

VARIABLES	MODEL 5 EP	MODEL 6 EC	MODEL 7 ET	MODEL 8 PTF
LIB	3.78E-05	4.74E-05	1.24E-04	1.68E-04
TRF	-1.21E-04	4.23E-04	3.48E-04	5.38E-05
TRV	-2.91E-04	1.77E-03	2.49E-03	9.23E-04
GDP	1.05E-06	-3.71E-07	2.08E-06	-6.09E-06
DSP	8.96E-05	1.24E-04	9.15E-05	1.27E-03
TDEN	-3.43E-07	-2.69E-06	1.01E-06	8.11E-06
TSTRUCT	-2.36E-01	-1.50E-01	-1.39E+00	-1.43E-01
SUPERF	2.68E-08	-8.24E-08	-4.47E-07	4.18E-07
PLE	-4.62E-03	-1.47E-01	-2.89E-02	-1.87E-01
PMaF	-2.34E-01	3.40E-02	-6.37E-01	4.78E-01
PMaV	6.15E-01	-1.12E+00	1.79E+00	6.63E-01
PMF	1.88E-05	-2.91E-05	5.84E-04	8.05E-05
PMV	-7.90E-04	-5.69E-04	-1.96E-03	-1.68E-04
TREND	-1.39E-03	-6.33E-03	-8.30E-03	-6.10E-03

Bibliography

Aigner, Dennis, C.A.Knox Lovell, and Peter Schmidt. 1977. "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models." *Journal of Econometrics* 6 (1): 21–37.

Asmild, Mette, Torben Holvad, Jens Leth Hougaard, and Dorte Kronborg. 2009. "Railway Reforms: Do They Influence Operating Efficiency?" *Transportation* 36 (5): 617–38.

Atkinson, Scott E., and Christopher Cornwell. 1998. "Estimating Radial Measures of Productivity Growth: Frontier vs Non-Frontier Approaches." *Journal of Productivity Analysis* 10 (1): 35–46.

Baltagi, Badi H., and James M. Griffin. 1988. "A General Index of Technical Change." *Journal of Political Economy* 96 (1): 20–41.

Baltagi, Badi H., James M. Griffin, and Daniel P. Rich. 1995. "The Measurement of Firm-Specific Indexes of Technical Change." *The Review of Economics and Statistics* 77 (4): 654–63.

Barro, Robert J., and Xavier I. Sala-i-Martin. 1995. *Economic Growth*. 2nd edition. Cambridge, Mass: The MIT Press.

Barro, Robert, and Xavier Sala-i-Martin. 1991. "Convergence across States and Regions." *Brookings Papers on Economic Activity* 22 (1): 107–82.

Barro, Robert, and Xavier Sala-i-Martin. 1992. "Convergence." *Journal of Political Economy* 100 (2): 223–51.

Berger, Roland. 2012. "The Optimal Setup of a Rail System:vergleicht Bahnstrukturen."

Bernard, Andrew B., and Steven N. Durlauf. 1991. "Convergence of International Output Movements." Working Paper 3717. National Bureau of Economic Research.

Bernard, Andrew B., and Steven N. Durlauf. 1995. "Convergence in International Output." *Journal of Applied Econometrics* 10 (2): 97–108.

Bitzan, John D. 2003. "Railroad Costs and Competition: The Implications of Introducing Competition to Railroad Networks." *Journal of Transport Economics and Policy* 37 (2): 201–25.

Bitzan, John D., and Theodore E. Keeler. 2003. “Productivity Growth and Some of Its Determinants in the Deregulated U.S. Railroad Industry.” *Southern Economic Journal* 70 (2): 232–53.

Bougna, Emmanuel, and Yves Crozet. 2014. “Beyond the ‘bundling vs Unbundling’ Controversy: What Is at Stake for the French Railway?” *Research in Transportation Economics*, 393–400.

Boussemart, Jean-Philippe, and Dhafer Saidane. 2005. “Convergence et Performances Des Systèmes Bancaires Des Pays de l’OCDE*.” *L’Actualité Economique* 81 (4): 617–64.

Canova, Fabio, and Albert Marcet. 1995. “The Poor Stay Poor: Non-Convergence across Countries and Regions.” Economics Working Paper 137. Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra.

Cantos, Pedro, and Joaquín Maudos. 2001. “Regulation and Efficiency: The Case of European Railways.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 35 (5): 459–72.

Cantos, Pedro, José M. Pastor, and Lorenzo Serrano. 1999a. “Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: A Non-Parametric Approach.” *Transportation* 26 (4): 337–57.

Cantos, Pedro, José Manuel Pastor, and Lorenzo Serrano. 2010. “Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and Its Effects on Productivity.” *Journal of Transport Economics and Policy* 44 (2): 139–60.

Cantos Sánchez, P. 2001a. “Vertical Relationships for the European Railway Industry.” *Transport Policy* 8 (2): 77–83.

Cantos Sanchez, P., and J. Maudos Villarroya. 2000. “EFFICIENCY, TECHNICAL CHANGE AND PRODUCTIVITY IN THE EUROPEAN RAIL SECTOR: A STOCHASTIC FRONTIER APPROACH.” *International Journal of Transport Economics* 27 (1).

Caves, Douglas W., and Laurits R. Christensen. 1980. “The Relative Efficiency of Public and Private Firms in a Competitive Environment: The Case of Canadian Railroads.” *Journal of Political Economy* 88 (5): 958–76.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Swanson. 1980. “Productivity in U.S. Railroads, 1951-1974.” *The Bell Journal of Economics* 11 (1): 166–81.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Swanson. 1981. “Productivity Growth, Scale Economies, and Capacity Utilization in U.S. Railroads, 1955-74.” *The American Economic Review* 71 (5): 994–1002.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Joseph A. Swanson. 1981. “Economic Performance in Regulated and Unregulated Environments: A Comparison of U.S. and Canadian Railroads.” *The Quarterly Journal of Economics* 96 (4): 560–81.

Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen, and Michael W. Tretheway. 1984. “Economies of Density versus Economies of Scale: Why Trunk and Local Service Airline Costs Differ.” *The RAND Journal of Economics* 15 (4): 471.

Charnes, A, W. W Cooper, B Golany, L Seiford, and J Stutz. 1985. “Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions.” *Journal of Econometrics* 30 (1–2): 91–107.

Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes. 1978. “Measuring the Efficiency of Decision Making Units.” *European Journal of Operational Research* 2 (6): 429–44.

Christensen, Laurits R., Dale W. Jorgenson, and Lawrence J. Lau. 1971. “Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function.” *ResearchGate* 39 (January).

Coelli, Tim, and Sergio Perelman. 1999a. “A Comparison of Parametric and Non-Parametric Distance Functions: With Application to European Railways.” *European Journal of Operational Research* 117 (2): 326–39.

Coelli, Tim, and Sergio Perelman. 2000. “Efficiency Measurement, Multiple-Output Technologies and Distance Functions: With Application to European Railways.” *Applied Economics*, no. 32.

COM. 2014. “RAPPORT DE LA COMMISSION AU CONSEIL ET AU PARLEMENT EUROPÉEN Quatrième Rapport Sur Le Suivi de L’évolution Du Marché Ferroviaire.” COM/2014/0353.

Cowie, Jonathan, and Geoff Riddington. 1996. “Measuring the Efficiency of European Railways.” *Applied Economics* 28 (8): 1027–35.

Crozet, Pr Yves. 2016. “Introducing Competition in the European Rail Sector,” Assessing regulatory changes in the transport sector, 6-7 October 2016, Stockholm, .

Crozet, Y. 2013. “Coûts de Transaction, Coûts de Production, Capture… Comment Remettre Sur Les Rails Le Système Ferroviaire Français ? | Ville, Rail & Transports.”

Debreu, Gerard. 1951. “The Coefficient of Resource Utilization.” *Econometrica* 19 (3): 273–92.

Desmaris, Christian. 2010a. “Le transport ferroviaire régional de voyageurs en France : à la lumière de la théorie néo-institutionnaliste et des comptes de surplus.” Phdthesis, Université Lumière - Lyon II.

Desmaris, Christian.2010b. “La régionalisation ferroviaire en France : une première évaluation par la méthode des comptes de surplus.” *Revue d’économie industrielle*, no. 131 (September): 69–104.

Desmaris, Christian. 2014. “Une réforme du transport ferroviaire de voyageurs en Suisse : davantage de performances sans concurrence ?” *Les Cahiers scientifiques du transport*, no. 65: 67–96. 00955291/document.

Drew, J, and C. A. Nash. 2011. “Vertical Separation of Railway Infrastructure - Does It Always Make Sense.”

Driessen, Gertjan, Mark Lijesen, and Machiel Mulder. 2006. “The Impact of Competition on Productive Efficiency in European Railways.” CPB Discussion Paper 71. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.

Duranton, Sylvain, Agnès Audier, and Joël Hazan. 2012. “European Railway Performance Index: Understanding What Drives High Performance.”

ECMT. 2000. *Méthodes d’analyses comparatives dans les transports Méthodologies, applications et données nécessaires:* OECD Publishing.

ECMT, UN Organization for Economic Cooperation and Development. 2004. *Regulatory Reform of Railways in Russia*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

El Arbi Chaffai, Mohamed. 1989. “Estimation de frontières de production et de l’inefficacité technique. Application aux entreprises tunisiennes.” *Économie & prévision* 91 (5): 67–73.

Färe, Rolf. 1975. “Efficiency and the Production Function.” *Zeitschrift Für Nationalökonomie / Journal of Economics* 35 (3/4): 317–24.

Färe, Rolf, Shawna Grosskopf, Björn Lindgren, and Pontus Roos. 1994. “Productivity Developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index Approach.” In *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*, 253–72. Springer Netherlands.

Färe, Rolf, and C. A Knox Lovell. 1978. “Measuring the Technical Efficiency of Production.” *Journal of Economic Theory* 19 (1): 150–62.

Färe, Rolf, and Daniel Primont. 1995. *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Farrell, M. J. 1957. “The Measurement of Productive Efficiency.” *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 120 (3): 253.

Fielding, Gordon J., Timlynn T. Babitsky, and Mary E. Brenner. 1985. “Performance Evaluation for Bus Transit.” *Transportation Research Part A: General* 19 (1): 73–82.

Filippini, Massimo, and Rico Maggi. 1993. “Efficiency and Regulation in the Case of the Swiss Private Railways.” *Journal of Regulatory Economics* 5 (2): 199–216.

Friebel, Guido, Marc Ivaldi, and Catherine Vibes. 2005. “Railway (De)Regulation: A European Efficiency Comparison.” SSRN Scholarly Paper ID 505302. Rochester, NY: Social Science Research Network.

Frisch, R. 1964. *Theory of Production*. Springer Science & Business Media.

Fuss, Catherine. 1999. “Mesures et tests de convergence : une revue de la littérature.” *Revue de l’OFCE* 69 (1): 221–49.

Galor, Oded. 1996. “Convergence? Inferences from Theoretical Models.” *The Economic Journal* 106 (437): 1056–69.

Gathon, Henry-Jean, and Sergio Perelman. 1989. “Etude Comparative Des Performances Des Societes De Chemins De Fer*.” *Annals of Public and Cooperative Economics* 60 (1): 61–80.

Greene, Willam. 2005. “Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models.” *Journal of Productivity Analysis* 23 (1): 7–32.

Greene, William H. 1980. “Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Functions.” *Journal of Econometrics* 13 (1): 27–56.

Greene, William H. 2008. “The Econometric Approach to Efficiency Analysis.” In *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change*, edited by Harold O. Fried, C. A. Knox Lovell, and Shelton S. Schmidt, 92–250. Oxford University Press.

Growitsch, Christian, and Heike Wetzel. 2007. “Testing for Economies of Scope in European Railways: An Efficiency Analysis.” Working Paper Series in Economics 72. University of Lüneburg, Institute of Economics.

Harmey, C., and C. Hemat. 1985. “La méthode des surplus de productivité globale. Son application à la SNCF.” *Revue générale des chemins de fer* 104: 651–56.

Hart, Peter E. 1995. “Galtonian Regression Across Countries and the Convergence of Productivity†.” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 57 (3): 287–93.

Hénin, Pierre-Yves, and Yannick Le Pen. 1995. “Les épisodes de la convergence européenne.” *Revue économique* 46 (3): 667–77.

Hubert HANENEL. 2009. “La Libéralisation Des Transports Ferroviaires Dans l’Union Européenne.” 220 (2008-2009).

IBM, Deutschland GmbH, and Christian Kirchner. 2004. “Rail Liberalisation Index 2004.” Brussels.

IBM, Deutschland GmbH, and Christian Kirchner. 2007. “Rail Liberalisation Index 2007.” Brussels.

IBM, Deutschland GmbH, and Christian Kirchner. 2011. “Rail Liberalisation Index 2011.” Brussels.

Ivaldi, Marc, and Gerard J. McCullough. 2004. “Subadditivity Tests for Network Separation with an Application to U.S. Railroads.” SSRN Scholarly Paper ID 556781. Rochester, NY: Social Science Research Network.

Jensen, Arne, and Petra Stelling. 2007. “Economic Impacts of Swedish Railway Deregulation: A Longitudinal Study.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43 (5): 516–34.

Kabasakal, Ali, Aziz Kutlar, and Murat Sarikaya. 2013. “Efficiency Determinations of the Worldwide Railway Companies via DEA and Contributions of the Outputs to the Efficiency and TFP by Panel Regression.” *Central European Journal of Operations Research*, April, 1–20.

Kearney, A .T. 2009. “Rail Freight: Returning to Profitability.” /paper/-/asset_publisher/dVxv4Hz2h8bS/content/rail-freight-returning-to-profitability/10192,

Kim, M., and S. Kim. 2001. “AN ANALYSIS OF THE COST STRUCTURE OF A SEOUL’S RAIL TRANSIT PROPERTY: A STOCASTIC FRONTIER APPROACH.” In .

Kleinová, Eliška. 2016. “Does Liberalization of the Railway Industry Lead to Higher Technical Effectiveness?” *Journal of Rail Transport Planning & Management* 6 (1): 67–76.

Koopmans, TC. 1951. “Activity Analysis Production Allocation - AbeBooks.”

Ksoll, Markus. 2004. “Integration of Infrastructure and Transport: An Assessment from Industrial Economics and Railway Perspectives.” In .

Lamarlière, Isabelle Géneau de, and Jean-François Staszak. 2000. *Principes de géographie économique*. Editions Bréal.

Lan, Lawrence W., and Erwin T. J. Lin. 2006. “Performance Measurement for Railway Transport: Stochastic Distance Functions with Inefficiency and Ineffectiveness Effects.” *Journal of Transport Economics and Policy* 40 (3): 383–408.

Laroche, Florent. 2013. “Les Causes Contestables de La Chute Du Fret Ferroviaire.”

Laroche, Florent, T Vanelsander, and E Voorde. 2016. “Competition in a Network Industry: The Case of the European Rail Freight Market.”

Leibenstein, Harvey. 1966. “Allocative Efficiency vs. ‘X-Efficiency.’” *The American Economic Review* 56 (3): 392–415.

Li, Lan-bing, and Jin-Li Hu. 2011. “Efficiency and Productivity of the Chinese Railway System: Application of a Multi-Stage Framework.” *African Journal of Business Management* 5 (22): 8789.

Loizides, John, and Efthymios G. Tsionas. 2002. “Productivity Growth in European Railways: A New Approach.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 36 (7): 633–44.

Louis-André, Vincent. 1971a. “Documents du C.E.R.C. - Productivité globale et comptes de surplus de la S.N.C.F.. no 3-4 3e et 4e trimestres 1969.” *Revue économique* 22

Lovell, C. A. Knox, Peter Travers, Sue Richardson, and Lisa Wood. 1994. “Resources and Functionings: A New View of Inequality in Australia.” In *Models and Measurement of Welfare and Inequality*, edited by Professor Dr Dr h c Wolfgang Eichhorn, 787–807. Springer Berlin Heidelberg.

Matsushima, Noriaki, and Fumitoshi Mizutani. 2011. “Market Size and Vertical Structure in the Railway Industry.” SSRN Scholarly Paper ID 1943251. Rochester, NY: Social Science Research Network.

Meeusen, Wim, and Julien van Den Broeck. 1977. “Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error.” *International Economic Review* 18 (2): 435.

Merkert, Rico, Andrew S. J. Smith, and Chris A. Nash. 2010. “Benchmarking of Train Operating Firms – a Transaction Cost Efficiency Analysis.” *Transportation Planning and Technology* 33 (1): 35–53.

“MÉTHODES D A NALYSES CO M PARATIVES DANS LES TRANSPORTS. Méthodologies, Applications & Données Nécessaires.” 2016. Accessed August 20.

Mizutani, Fumitoshi, and Kiyoshi Nakamura. 2004. “The Japanese Experience with Railway Restructuring.” NBER Chapters. National Bureau of Economic Research, Inc.

Mizutani, Fumitoshi, and Kenichi Shoji. 2004. “Rail Operation–infrastructure Separation: The Case of Kobe Rapid Transit Railway.” *Transport Policy* 11 (3): 251–63.

Mizutani, Fumitoshi, and Shuji Uranishi. 2012. “Does Vertical Separation Reduce Cost? An Empirical Analysis of the Rail Industry in European and East Asian OECD Countries.” *Journal of Regulatory Economics* 43 (1): 31–59.

Nash, C. 1997. “The Separation of Operations from Infrastructure in the Provision of Railway Services (ECMT, Ed.).” In . OECD Paris.

Nash, C. A. 1981. “Government Policy and Rail Transport in Western Europe.” *Transport Reviews* 1 (3): 225–50.

Nash, Chris, and Jonathan Preston. 1994a. “Railway Performance—how Does Britain Compare?” *Public Money & Management* 14 (4): 47–53.

Nash, Chris, and Jonathan Preston. 1994. 1994b. “Railway Performance—how Does Britain Compare?” *Public Money & Management* 14 (4): 47–53.

Newbery, David M. 1999. “Privatization, Restructuring, and Regulation of Network Utilities.” *ResearchGate*, January.

Nodjitidjé, Djimasra. 2011. “Décomposition de L’indice de Productivité de Malmquist t: Une Application Sur Un Échantillon Des Pays Africains

Oum, Tae Hoon, W. G. Waters II, and Chunyan Yu. 1999. “A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport.” *Journal of Transport Economics and Policy* 33 (1): 9–42.

Oum, Tae Hoon, and Chunyan Yu. 1994. “Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy: A Comparative Study of the OECD Countries’ Railways.” *Journal of Transport Economics and Policy* 28 (2): 121–38.

Pedro, Cantos Sánchez, Serrano Martínez Lorenzo, and Pastor Monsálvez José Manuel. 2012. “Productivity and Deregulation in European Railways.” Working Paper 2012124. Fundacion BBVA / BBVA Foundation.

Pedro, Cantos Sánchez, Pastor Monsálvez José Manuel, and Serrano Martínez Lorenzo. 2008. “Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector: Effects on Productivity.” Working Paper 201065. Fundacion BBVA / BBVA Foundation.

Perelman, Sergio. 1986. “Frontières d’efficacité et performance technique des chemins de fer.” *Annals of Public and Cooperative Economics = Annales de l’Economie Publique, Sociale et Coopérative*.

Pesqueux, Yvon. 2004. “La notion de performance globale.” *LA NOTION DE PERFORMANCE GLOBALE*, December.

Pham, Vinh. 2013. “The Liberalization of Rail Transport in the European Union.” *Economics Honors Papers. Paper 10.*

Pitfield, David, and Kenneth John Button, eds. 1985. *International Railway Economics : Studies in Management and Efficiency*. Aldershot Brookefield: Gower.

Pittman, Russell. 2001. “Vertical Restructuring of the Infrastructure Sectors of Transition Economies.” Industrial Organization 111002. EconWPA.

Porcelli, Francesco. 2009. “Measurement of Technical Efficiency. A Brief Survey on Parametric and Non-Parametric Techniques.” *University of Warwick* 11.

Quah, Danny. 1993a. “Galton’s Fallacy and Tests of the Convergence Hypothesis.” *The Scandinavian Journal of Economics* 95 (4): 427–43.

Quah, Danny. 1993b. “Empirical Cross-Section Dynamics in Economic Growth.” *European Economic Review* 37 (2): 426–34.

Quah, Danny. 1994. “One Business Cycle and One Trend from (Many,) Many Disaggregates.” *European Economic Review* 38 (3–4): 605–14.

Quah, Danny T. 1996. “Empirics for Economic Growth and Convergence.” *European Economic Review* 40 (6): 1353–75.

Rees, Ray. 1976. *Public Enterprise Economics*. Weidenfeld and Nicolson.

Richmond, J. 1974. “Estimating the Efficiency of Production.” *International Economic Review* 15 (2): 515–21.

Ritter, Christian, and Léopold Simar. 1997. “Pitfalls of Normal-Gamma Stochastic Frontier Models.” *Journal of Productivity Analysis* 8 (2): 167–82.

Robert Russell, R. 1985. “Measures of Technical Efficiency.” *Journal of Economic Theory* 35 (1): 109–26.

Robert Russell, R. 1990. “Continuity of Measures of Technical Efficiency.” *Journal of Economic Theory* 51 (2): 255–67.

Russell, R. Robert. 1988. “On the Axiomatic Approach to the Measurement of Technical Efficiency.” In *Measurement in Economics*, edited by Professor Dr Wolfgang Eichhorn, 207–17. Physica-Verlag HD.

SCI-Verkehr GmbH. 2012. “Performance Comparison of Selected European Railway Companies.”

Shephard, Ronald William. 1954. “Cost and Production Functions.” *Naval Research Logistics Quarterly* 1 (2): 171–171.

Thompson, L. S. 1997. “The Benefits of Separating Rail Infrastructure from Operations.” *Public Policy for the Private Sector, World Bank.*, no. 135. /view.aspx?id=372582.

Tirole, Jean. 1993. *Théorie de l’organisation industrielle tome 1*. Paris: Economica.

Tobin, James. 1958. “Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables.” *Econometrica* 26 (1): 24–36.

Transport, European Conference of Ministers of. 2000. *Méthodes d'analyses comparatives dans les transports Méthodologies, applications et données nécessaires: Méthodologies, applications et données nécessaires*. OECD Publishing.

Van de Velde, Didier, Chris Nash, Fumitoshi Mizutani, Mark Lijesen, Frank Zschoche, and Andrew Smith. 2012. "EVES-Rail - Economic Effects of Vertical Separation in the Railway Sector."

Wetzel, Heike. 2008. "Productivity Growth in European Railways: Technological Progress,Efficiency Change and Scale Effects." Working Paper Series in Economics 101. University of Lüneburg, Institute of Economics.

World Bank. 2011. "Railway Reform in South East Europe and Turkey : On the Right Track?" 60223. The World Bank.

Yu, Ming-Miin. 2008. "Assessing the Technical Efficiency, Service Effectiveness, and Technical Effectiveness of the World's Railways through NDEA Analysis." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 42 (10): 1283–94.

Yu, Ming-Miin, and Erwin T. J. Lin. 2008. "Efficiency and Effectiveness in Railway Performance Using a Multi-Activity Network DEA Model." *Omega*, A Special Issue Dedicated to the 2008 Beijing Olympic Games, 36 (6): 1005–17.

List of appendices

Appendix 1-1: Index of the number of passengers-km 215
Appendix 1-2 : Index of the number of passengers per train 215
Appendix 1-3: Index of the number of tons-km 216
Appendix 1-4 : Index of the number of ton per train 216
Appendix 1-5: Evolution of the index of average revenue per passenger-km 217
Appendix 1-6 : Index of the staff expense share 217
Appendix 1-7: Evolution of the cost share index for external consumption and expenses 218
Appendix 1-8 : Evolution of cost index per train-km 218
Appendix 1-9 : Evolution of the cost index per traffic unit 219
Appendix 1-10 : Evolution of the number of passenger trains-km 219
Appendix 1-11: Evolution of the number of freight trains-km 220
Appendix 1-12: Evolution of the work productivity index (in trains-km) 220
Appendix 1-13: Evolution of labor productivity index (in traffic unit) 221
Appendix 1-14: Locomotive productivity index 221
Appendix 1-15 : Evolution of the coach productivity index 222
Appendix 1-16 : Evolution of the operating ratio index 222
Appendix 1-17 Evolution of the indebtedness ratio index 223
Appendix 1-18 : Evolution of the productivity index of wagons 223
Appendix 1-19 : Evolution of the average revenue per ton-km 224
Appendix 1-20: Comparative test of population per year (average revenue passenger-km) 224
Appendix 1-21: Comparative test of populations per year of the number of tons-km 225
Appendix 3-1: Descriptive Statistics of Productive Efficiency 225
Appendix 3-2: Trend of productive efficiency, base 100= 1997 226
Appendix 3-3: Total factor productivity change 1 and its components 226
Appendix 3-4: Trend of commercial efficiency, base 100= 1997 227
Appendix 3-5: Descriptive statistics of commercial efficiency 227
Appendix 3-6: Trend of commercial efficiency, base 100= 1997 228
Appendix 3-7: Descriptive statistics of commercial efficiency 228
Appendix 3-8: Matrix of the performances: TFP3 and TC3 229
Appendix 3-9: Matrix of the performances: TEC3 and TFP3 229
Appendix 3-10: Total factor productivity change 3 and its components 230
Appendix 3-11: Matrix of the performances: SEC3 and TFP3 230

Appendix 3-12: Performance determinants 231
Appendix 4-1: Values of the marginal effects of models 1 to 4 231
Appendix 4-2 : Values of marginal effects of models 5 to 8 232

List of figures

Figure 1: Greenhouse gas emissions in the EU per means of transport 9
Figure 2: Density of rail network per km 10
Figure 3: Rail network density (km/1000km^2) and population density (hab./km^2). 11
Figure 4: Trends in freight transport and GDP/hbt of 28 EU countries: Base 100 = 1995 12
Figure 5: Evolution of passenger traffic and GDP per capita of the 28 EU countries: Basis 100 = 1995 13
Figure 6: Growth in rail freight traffic between 1990 and 2014 14
Figure 7: Growth in passenger rail traffic between 1990 and 2014 14
Figure 8: Evolution of “high-speed” passenger traffic shares. 15
Figure 9: Map of the European countries following the model of railways organization 18
Figure 1-1 : Trend in the average revenue per passenger-km 35
Figure 1-2 : Trend in the average revenue per ton/km 37
Figure 1-3 : Trend in the average revenue per traffic unit 38
Figure 1-4 : Trend in average revenue per train-km 39
Figure 1-5 : Trend in the share of staff costs on operating costs 40
Figure 1-6 : Evolution of the share of consumption and raw materials costs 41
Figure 1-7 : Trend in average wage per employee 42
Figure 1-8 : Trend in total cost per train-km 43
Figure 1-9 : Trend in cost per traffic unit 44
Figure 1-10 : Trend in the number of passengers/km between 1990 and 2012 46
Figure 1-11 : Trend in the number of tons-km 47
Figure 1-12 : Trend in the number of passengers per train 49
Figure 1-13 : Trend in the number of tons per train 50
Figure 1-14 : Trends in freight transport market shares 51
Figure 1-15 : Trends in passenger transport market shares 52
Figure 1-16 : Trends in the number of passenger trains/kilometers 53
Figure 1-17 : Trends in the number of freight trains-km (in millions) 54

Figure 1-18 : Trends in productivity of labour (in thousand of traffic units) 56
Figure 1-19 : Trends in physical productivity of labour (in thousand of trains-km) 56
Figure 1-20 : Trends in productivity of locomotives (in millions of traffic units) 58
Figure 1-21 : Trends in the physical coach productivity 59
Figure 1-22 : Trends in physical productivity of wagons 60
Figure 1-23 : Operating ratio trend 61
Figure 1-24 : Trends in financial autonomy ratio 62
Figure 1-25 : Trends in debt rate 63
Figure 2-1: Measurement of technical and allocative efficiency 70
Figure 2-2: Frontier families 71
Figure 2-3: Output-oriented distance function and the production whole 75
Figure 3-1 : Performance analysis scheme of railway companies 101
Figure 3-2: Trend of efficiencies 117
Figure 3-3: Total factor productivity 1 and its components between 1997 and 2011 119
Figure 3-4: Total Productivity 3 and its components 123
Figure 3-5:Histogram of productive efficiency per country 127
Figure 3-6: Average productive efficiency per region 127
Figure 3-7: Trend of total factor productivity change 1 per region 130
Figure 3-8: Histogram of total factor productivity change 1 130
Figure 3-9: Histogram of commercial efficiency 132
Figure 3-10: Trend of commercial efficiency per region 133
Figure 3-11: Histogram of technical efficiency 135
Figure 3-12: Trend of the averages of technical efficiencies per region 136
Figure 3-13: Histogram of the average values of variation in total productivity 3 138
Figure 3-14: Average Variation in Total Factor Productivity 3 141
Figure 3-15: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (all sample) 147
Figure 3-16: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (Productive efficiency) 148
Figure 3-17: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (Technical efficiency) 149
Figure 3-18 Comparative evolution in productive efficiency between 1997 and 2011 150
Figure 3-19: Comparative evolution in technical efficiency between 1997 and 2011 150
Figure 3-20: Evolution of disparities between 1997 and 1991 (Commercial efficiency) 151
Figure 3-21: Comparative evolution of commercial efficiency 152
Figure 3-22: Matrix of performance, commercial efficiency and productive efficiency 154

Figure 3-23: Matrix of performances, commercial efficiency and technical efficiency. 154
Figure 3-24: Matrix of the performances, TFP1 and TC1 155
Figure 3-25: Matrices of performances, TFP1 and TEC1 156
Figure 3-26: Matrix of the performances, TFP1 and SEC1 156
Figure 4-1: Date of liberalisation of the European railway freight 167
Figure 4-2: Liberalisation of passenger railway transport in Europe 168
Figure 4-3: Structure of the railway market 169
Figure 4-4 : Licensing as notified by the AFE and the national authorities (2012) 170
Figure 4-5 : Number of railway companies operating 170
Figure 4-6 : Point cloud between productive efficiency and COM 188
Figure 4-7 : Point cloud between commercial efficiency and COM 189
Figure 4-8: Point cloud between commercial efficiency and COM 190
Figure 4-9: Point cloud between the variation in total productivity and COM 191
Figure 4-10: Point cloud between productive efficiency and LIB 192
Figure 4-11 : Point cloud between commercial efficiency and LIB 192
Figure 4-12: Point cloud between ET and LIB 194
Figure 4-13 : Point cloud between variation in total productivity and LIB 194

List of tables

Table 1-1: Results of the Kruskal-Wallis population comparison test 34
Table 1-2: Results of Kruskal-Wallis population comparison (revenue per ton-km 36
Table 1-3: Comparison test for the number of tons km 47
Table 1-4: Comparison test for the number of passengers per train 48
Table 2-1:A few empirical results obtained using non-parametric frontiers 86
Table 2-2: A Few Empirical Results Obtained Using Deterministic Frontier Models 91
Table 2-3 : A Few Empirical Results Obtained Using Stochastics Frontier Models 93
Table 3-1: Descriptive statistics of variables during the 1997-2011 period 105
Table 3-2: Estimated parameters of the commercial efficiency frontier 113
Table 3-3: Estimated parameters of the productive efficiency frontier 114
Table 3-4: Estimated parameters of the technical efficiency frontier 115
Table 3-5: Results of the Wilcoxon's rank sum test 116
Table 3-6: Spearman correlation 117
Table 3-7: Total factor productivity 1 and its components between 1997 and 2011 120

Table 3-8: Spearman Correlation 1 121
Table 3-9: Total Productivity 3 and its components 122
Table 3-10: Spearman correlation 124
Table 3-11: Descriptive Statistics of Productive Efficiency 125
Table 3-12: Comparative test of productive efficiency distributions per region 126
Table 3-13: Descriptive statistics of the variation in total productivity 1 128
Table 3-14: Descriptive statistics of commercial efficiency 131
Table 3-15: Test of comparison for the commercial efficiency distributions 131
Table 3-16: Descriptive statistics of technical efficiency 134
Table 3-17: Technical efficiency comparison test 134
Table 3-18: *Descriptive statistics of total productivity 3* 137
Table 3-19: Results of the Kruskal-Wallis test (TFP3) 137
Table 3-20: Results of the β-convergence for the all sample 145
Table 3-21: Results of the β-convergence for sample 1 146
Table 3-22: Results of the β-convergence of the different forms of efficiencies for sample 2 147
Table 4-1 : Descriptive statistics 186
Table 4-2: Descriptive statistics (continued) 187
Table 4-3 : Descriptive statistics (continued and end) 188
Table 4-4 : Results of variance inflation test (COM) 196
Table 4-5: Results of variance inflation test (LIB) 196
Table 4-6 : TOBIT Models with COM variable 202
Table 4-7: TOBIT Models with COM variable 203
Table 4-8: Results of variance inflation factor (LIB and COM) 204
Table 4-9: TOBIT model with control of LIB and COM variables 205

Table of contents

Summary 6

General Introduction: The Rail Transport Problem 9

Chapter-1 European Union Railway Policy: Case of the Performance of the four major 22

Introduction 22

1.1 Benchmarking of Railway Company Performances: a Theoretical Approach 24

1.1.1 Definition of Concepts 24

a Performance 24

b What is benchmarking? 25

1.1.2 Choice of Companies to Compare 25

1.1.3 Choice of indicators 27

1.1.3.1 Economic Performance Indicators 28

1.1.3.1.1 Revenue structure 28

a Traffic 28

b Pricing 28

c Subsidies 29

1.1.3.1.2 Cost structure 29

1.1.3.2 Economic Performance Indicators 30

1.1.3.3 Productivity performance indicators 31

1.1.3.4 Financial performance indicators 32

1.2 Comparative analysis of railway performance: a formal calculation of the indicators 33

1.2.1 Data 33

1.2.2 Economic Performance Indicators 33

1.2.2.1 Revenue Structure Indicators 33

a Average revenue per passenger-km 34

b Average revenue per ton-km 35

c Product per production unit 37

1.2.2.2 Cost structure Indicators 39

a The Trend of staff share costs in the total cost 39

a Trend in external consumption and expenses shares 40

b Trends in average annual salary 42

c Trend in total cost per production unit 43
1.2.3 Market share indicators 44
1.2.3.1 Market Traffic or Demand Analysis 45
a Number of passengers-km 45
b Number of tons-km. 46
1.2.3.2 Capacity utilization analysis 48
a Number of passengers per train 48
b Number of Tons per train 49
1.2.3.3 Market shares Indicator 50
a Freight rail transport market shares 50
b Passenger rail transport market shares 51
1.2.4 Production performance Indicators 52
1.2.4.1 Traffic analysis 53
a The number of passenger trains-km 53
b The number of freight trains-km 54
1.2.4.2 Productivity measurement indicators 54
a Labor productivity 54
b Locomotive productivity 57
c Coach productivity 58
d Productivity of wagons 59
1.2.5 Financial performance analysis 60
a The operating ratio 60
b The financial autonomy ratio 61
c The debt ratio 62
Conclusion of the first chapter 64
Chapitre 2 Production Frontiers and Performance Measurement: Theoretical Approach and Empirical Results 66
Introduction 66
2.1 The Theoretical Foundations of Production Performance 67
2.1.1 Microeconomic Analysis of Production Performance 69
2.1.1.1 Definition of Concepts 69
2.2 Instruments of Production Performance Analysis 71
2.2.1 Parametric Frontiers 72

2.2.1.1 Modeling of Parametric Frontiers 72
a The Case of An Output 72
b Multiple Outputs Case 74
2.2.1.2 Estimation Techniques 77
a Corrected Least Squares (CLS) Technique 78
b The Maximum Likelihood Technique 78
2.2.2 Measurement of Total Factor Productivity and its Components 80
a Technical Efficiency Change (TEC) 81
b Technology Change 81
c Scale Efficiency Change 81
2.3 Railway Performance Analysis: some lessons from the past 82
2.3.1 A Few Empirical Results Obtains Using Non-Parametric Methods 82
2.3.2 Some empirical results obtained using parametric methods 87
2.3.2.1 Deterministic Frontiers 87
2.3.2.2 Stochastic Frontiers 90
Conclusion of the second chapter 95
Chapter-3 Measuring efficiency of certain European countries: a parametric estimation of distance function 97
Introduction 97
3.1 Analytical framework of railway performance 99
3.2 Methodology. 100
3.2.1 Sample description 100
3.2.2 Description of data and definition of variables 102
3.2.3 Presentation of empirical models 106
3.2.3.1 Productive efficiency frontier 106
3.2.3.2 The commercial efficiency frontier 109
3.2.3.3 The frontier of technical efficiency 110
3.3 Analysis and interpretation of results 111
3.3.1 Diagnostic and validation of models 111
3.3.2 Global analysis 116
3.3.2.1 Analysis of the average evolution of efficiencies 117
3.3.2.2 Analysis of total factor productivity and its components. 119
3.3.3 Comparative analysis 124

3.3.3.1 Productive efficiency 125
3.3.3.2 Total factor productivity change 1 128
3.3.3.3 Commercial Efficiency 131
3.3.3.4 Technical efficiency 133
3.3.3.5 Total Productivity 3 136
3.4 Measurement and test of convergence 141
3.4.1 Indicators of convergence measurement 141
3.4.2 The convergence β– test 144
3.4.3 Sigma convergence test 147
Conclusion of the third chapter 157
Chapter-4 The impact of competition and liberalisation on railways performances 160
Introduction 160
4.1 The process of liberalising railway activities: a current state 161
4.1.1 What do we mean by liberalisation of railway activities? 161
4.1.2 How to quantify the degree of liberalisation 162
4.1.3 Evolution of the liberalization process in Europe. 163
4.1.4 The process of liberalization of railway activities in the European Union: At what level are Member States? 165
4.1.4.1 The structure of railway companies 165
4.1.4.2 The degree of opening up of the railway market to competition 166
4.2 The effects of the liberalisation on railway performance: literature review 171
4.2.1 The impact of vertical separation and free access on the performance of railway companies 171
4.2.1.1 Some disadvantages of a vertically separated structure 171
4.2.1.2 Some defenders of a vertically separated structure 175
4.2.1.3 Some neutral studies on the subject 176
4.2.2 Liberalisation and competition in railways: impact on performance 179
4.3 Methodology and descriptive analyses 181
4.3.1 Model 181
4.3.2 Estimation method 182
4.3.3 Descriptive analysis 183
a Control variables 183
b Variables to be tested 184

c Data 185
4.4 Analysis and interpretation of results 195
4.4.1 Validation of models 195
4.4.2 Analysis of performance determinants: control variables 197
4.4.3 Impact of competitive dynamics on railway performance 200
4.4.4 Impact of liberalisation on railway performance 200
Conclusion of chapter 4 and implications for public policies 206
General conclusion 209
Appendices 215
Bibliography 233
List of appendices 244
List of figure 245
List of table 247
Table of contents 249