

L'IMPACT DES REFORMES DEREGLEMENTAIRES APPLIQUEES AUX SYSTEMES FERROVIAIRES SUR L'EFFICACITE TECHNIQUE DES COMPAGNIES DE CHEMIN DE FER

Par

Foued ALOULOU

Enseignant Universitaire à la Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sousse, économiste et membre au laboratoire de Recherche « Management Stratégique de l'Innovation et Intégration Régionale (LMASIIR) », Université de Sousse -Tunisie.

&

Nawras LOUSSAIF

Doctorante à la FSEGSO, Spécialité en Sciences de Transport et de la Logistique, membre au laboratoire de la Recherche « LMASIIR », Université de Sousse-Tunisie.

Loussaifnawras@gmail.com

Résumé :

Dans cet article, nous allons essayer d'étudier les effets des réformes déréglementaires appliquées aux systèmes ferroviaires sur l'efficacité technique des compagnies de chemin de fer. Notre étude empirique est basée sur un modèle DEA à deux étapes. Dans une première étape nous allons calculer les scores d'efficacité technique de 18 entreprises de transport ferroviaire européennes et africaines sur une période de 4 ans qui s'étale de 2014 à 2017. Deux variables outputs ont été sélectionnées traitant de l'aspect demande telles que les passagers kilomètre transporté (PKT) et les tonnes kilomètres transportées (TKT) et trois variables inputs ont été utilisées reflétant le niveau de travail, le stock de capital et la taille de réseau exploité par chaque entreprise.

Dans la seconde étape, les 72 observations portant sur ces scores d'efficacité seront régressées selon le modèle Tobit en fonction d'un certain nombre de variables non discrétionnaires. Quatre variables d'intérêt illustrant les réformes ferroviaires et trois variables de contrôles décrivant l'environnement économique et géographique où règne chaque entreprise, ont été intégrées dans le modèle.

L'objectif est de mieux expliquer l'écart d'efficacité observé entre les entreprises via des variables exogènes dépassant le cadre technique de production.

Les principaux résultats dégagés suggèrent que les pays qui ont procédé à des pratiques de réformes sont plus efficaces que ceux qui maintiennent une structure réglementaire et que les réformes horizontales et la gestion privée des entreprises, semblent plus pertinentes que la

séparation verticale et l'accroissement du nombre des concurrents pour améliorer l'efficacité des compagnies de transport ferroviaire.

Mots clés : efficacité technique, méthode non paramétrique DEA, régression Tobit, transport ferroviaire, séparation verticale, séparation horizontale, etc.

The impact of deregulatory reforms applied to railway systems on the technical efficiency of railway companies

Abstract:

In this article, we will try to study the effects of deregulatory reforms applied to rail systems on the technical efficiency of railway companies. Our empirical study is based on a two-stage DEA model. In a first step we will calculate the technical efficiency scores of 18 European and African rail transport companies over an 4-year period spanning 2014 to 2017. Two output variables were selected dealing with the demand aspect such that the passenger kilometer transported (PKT) and the tone kilometer transported (TKT) and three input variables were used reflecting the level of work, the capital stock and the size of the network operated by each enterprise.

In the second step, the 72 DMU's relating to these efficiency scores will be regressed according to the Tobit model as a function of a certain number of non-discretionary variables. We have integrated in this model four variables of interest illustrating the railway reforms and three variables of controls describing the economic and geographic environment in which each company reigns. The objective is to better explain the efficiency gap observed between companies via exogenous variables beyond the technical framework of production.

The main results suggest that the countries which have carried out reform practices are more efficient than those which maintain a regulatory structure and that horizontal reforms and private management of enterprises seem more relevant than vertical separation and increased number of competitors to improve the efficiency of rail transport companies.

Keywords: technical efficiency, non parametric DEA method, Tobit regression, rail transport, vertical separation, horizontal separation, etc.

JEL classification : C14 ; C67,D24 ; L91. P17

Introduction

Depuis les années 1990, le marché de transport ferroviaire a connu une tendance à la déréglementation et l'ouverture à la concurrence. Plusieurs pays aussi bien développés qu'en voie de développement ont adopté des réformes institutionnelles et structurelles à des dates différentes et selon des modalités distinctes. Ces réformes tendent vers une réduction de l'intervention de l'Etat et une plus grande libéralisation des mécanismes de fonctionnement de ce secteur en promouvant son ouverture aussi bien à la concurrence qu'à l'initiative privée. Elles visent l'augmentation de la productivité et l'amélioration de l'efficacité et de la compétitivité de ce secteur face à une concurrence intermodale très rude.

Ces changements organisationnels en passant d'un marché de transport traditionnellement réglementé à un marché déréglementé, résident aussi bien dans les défaillances des pratiques réglementaires qui ont régné et caractérisé l'exploitation de ce secteur de transport, que dans les mutations de l'environnement économique qui imposent de nouvelles contraintes à la gestion publique des activités économiques et qui se préoccupent plus de l'efficacité que de la prestation d'un service public (Nasch et Preston, 1993). Ces pratiques réglementaires nationales sont devenues caducs à cause de leur inadaptation avec l'évolution technico-économique du secteur. Elles n'ont pas pu atteindre leurs objectifs assignés, à savoir l'amélioration de la performance et la compétitivité de chemin de fer (Laurent et Michel, 1993). Dans nombreux pays, le transport ferroviaire a perdu des parts de marché tout en exigeant des subventions croissantes. Il s'avère incapable de concurrencer le transport routier dont sa part de marché est devenue de plus en plus dominante. Les compagnies ferroviaires ont marqué une faible productivité, une mauvaise allocation et exploitation des ressources, une perte accumulée de leurs résultats financiers, une incapacité à auto-investir pour augmenter leur capacité de production, etc.

Par ailleurs, ce secteur est considéré comme stratégique ayant un rôle structurant et d'entraînement sur l'économie des nations. Il est conçu aujourd'hui comme un instrument de développement durable qui peut mieux satisfaire le transport en masse des passagers et de marchandises en réduisant les coûts de transport et neutralisant les externalités négatives de transport routier (pollution, nuisance, congestion, surconsommation de carburant, etc.). Il agit aussi comme un facteur de découplage entre la demande de transport et la croissance économique. D'où la nécessité de revitaliser ce secteur pour augmenter son attractivité (Devilleux et Verduyn, 2012),

Pour ce faire, plusieurs pays ont entamé des réformes structurelles et organisationnelles de leurs sociétés de transport ferroviaire tout en dépassant les contraintes des procédures de réglementation traditionnelle et ajustant les mécanismes de fonctionnement du secteur à l'évolution des marchés et des technologies.

Les expériences de la déréglementation ferroviaire ont été variées et se distinguent d'une nation à une autre. Plusieurs modalités déréglementaires ont été appliquées telles que la séparation verticale entre la gestion des infrastructures ferrées et l'exploitation techniques et commerciales des trains, l'ouverture à la concurrence, la privatisation des compagnies publiques, la concession ou contrat de franchise, etc. (Campos et Cantos, 2000). Certains pays s'avèrent plus avancés que d'autres dans leur expérience déréglementaire et dans le niveau de la libéralisation de ce secteur, alors que d'autres pays n'ont pas encore entamé ce processus de déréglementation et maintiennent encore le contrôle excessif de l'Etat sur ce secteur, tels que les pays de l'Afrique du Nord (Tunisie, Maroc, Algérie et Egypte).

Plusieurs études (Oum et Yu, 1994 ; Friebe et al., 2010 ; Urdanoz et Vibes, 2013, Kleinová, 2016, etc.) et organismes internationaux (Banque Mondiale, Union Européenne), considèrent que ce processus de libéralisation de transport ferroviaire est un instrument indispensable à la performance et la compétitivité de ce secteur face au déclin de son rôle dans le système de transport. Ce processus déréglementaire vise d'une part, à réduire les subventions étatiques affectées aux entreprises nationales de transport ferroviaire, à augmenter la flexibilité et la compétitivité de ces entreprises, à améliorer l'attractivité de ce secteur et à promouvoir son rôle dans le développement durable des nations.

Cependant, il n'a pas encore été prouvé que la déréglementation élimine totalement les surcoûts de la réglementation et améliore l'efficacité des entreprises déréglementées. Il est par conséquent naturel de s'interroger sur les effets de la déréglementation de chemin de fer sur la performance des entreprises de transport ferroviaire. Paraissait-il naturel d'associer marché déréglementé et efficacité? Quelle est la forme organisationnelle la plus adéquate pour corriger les défaillances de la réglementation?

Pour répondre à ces questions nous avons procédé à une démarche scientifique fondée sur la modélisation DEA (Data envelopment Analysis) à deux étapes pour évaluer l'efficacité technique et ses sources institutionnelles et économiques.

Ce modèle a été appliqué sur une base originale de données qui compile des informations sur 72 DMU's (unités de prise de décision) portant sur 18 compagnies appartenant à 11 pays sur une période de 4 ans qui s'étale de 2014 à 2017. Il consiste à calculer dans une première étape les scores d'efficacité de toutes des DMU's et à procéder dans une seconde étape à une régression économétrique d'un modèle Tobit où la variable endogène sera le score d'efficacité déjà calculé et les variables explicatives illustrent aussi bien les réformes entamées que l'environnement économique et géographique où règne la firme. Cette régression Tobit s'avère pertinente particulièrement lorsque la variable à expliquer (le score d'efficacité) est bornée entre zéro et un (Tobin, 1958).

Une diversité de variables explicatives a été intégrée pour expliquer l'impact de la déréglementation du secteur ferroviaire sur l'efficacité des entreprises de transport ferroviaire telles que la séparation verticale, la séparation horizontale, la gouvernance, le nombre des concurrents, la superficie, la population, le PIB par habitant et la densité de l'infrastructure.

Les quatre premières variables reflètent l'environnement institutionnel ou règne la compagnie et la nature des réformes déréglementaires envisagées. Les 4 autres variables de contrôle ont été retenues pour tester leur contribution à l'explication de l'écart d'efficacité entre les firmes de notre échantillon.

Donc, l'objectif de cet article est d'analyser l'impact de diverses pratiques déréglementaires appliquées au secteur de transport ferroviaire sur l'efficacité technique des compagnies exploitantes et de classer la société nationale de transport ferroviaire tunisienne (SNCFT) par rapport à celles les plus efficaces.

Cette étude présente un intérêt particulier pour la Tunisie, car elle peut offrir aux autorités publiques concernées par la gestion de ce secteur un ensemble d'informations et de renseignements aussi bien sur le niveau d'efficacité de la compagnie nationale de chemin de fer (SNCFT), que sur ses sources d'inefficacité, que sur les meilleures pratiques à entreprendre pour corriger ses défaillances.

Nous allons essayer aussi dans cet article de contribuer au débat sur la pertinence des réformes déréglementaires appliquées au secteur ferroviaire. Malgré que cette question fasse

l'objet de plusieurs études depuis des années, elle reste encore largement débattue car les résultats dégagés par ces études ne sont pas concluants et par conséquent, il n'existe pas un consensus sur l'effet positif de ces réformes sur l'efficacité de ce secteur ou sur la supériorité de certaines réformes par rapport à d'autres.

Pour ce faire, l'article propose tout d'abord une revue de la littérature sur les études portant sur cette question de l'impact de la libéralisation du secteur de transport ferroviaire sur son efficacité en mettant l'accent particulièrement sur celle utilisant la méthode DEA à deux étapes. Par la suite, la méthodologie de notre travail sera présentée. Cette méthodologie est basée sur l'approche non paramétrique de l'analyse par enveloppement des données (DEA) à deux étapes. Une présentation des variables outputs, inputs d'intérêt et de contrôle à intégrer dans les modèles à traiter et une description statistiques des données à utiliser dans notre analyse empirique feront l'objet de la section 3. Les sections 4 et 5 présenteront et discuteront les résultats dégagés respectivement par l'application du premier modèle DEA et du second modèle Tobit. Nous terminerons cet article par une conclusion.

1. Revue de la littérature

Nombreuses études empiriques ont été menées pour mesurer le niveau d'efficacité des sociétés de transport ferroviaire en faisant recours particulièrement à l'approche non paramétrique DEA. La tendance récente de ces travaux vise à analyser l'impact des réformes déréglementaires sur l'efficacité du secteur de transport ferroviaire que ce soit d'une manière générale en se référant à un indice de libéralisation de chemin de fer (Oum et Yu, 1994 ; Kleinová, 2016 ; Duranton et al., 2012, etc.) ou d'une manière spécifique en examinant les répercussions de chaque type de réforme sur la performance du système ferroviaire (Cowie, 1999 ; Friebe et al, 2005 ; Driessen et al, 2006 ; Wetzel, 2008 ; Merket et al, 2010 ; Cantos et al, 2012 ; etc.).

Cependant, les résultats dégagés par ces études semblent nuancés. Certains auteurs (Oum et Yu, 1994 ; Friebe et al., 2010 ; Urdanoz et Vibes, 2013 ; etc.) confirment les effets positifs de la libéralisation du chemin de fer sur l'efficacité et indiquent une supériorité de la propriété privée par rapport à celle publique (Cowie, 1999 ; Campos et Cantos, 2000 ; etc.). Alors que d'autres ne trouvent aucune preuve claire indiquant un apport positif de la libéralisation du chemin de fer ni sur l'efficacité ni sur l'accroissement du trafic (Graham, 2008 ; Duranton et al., 2012 ; Kleinová, 2016 ; etc.). Par contre d'autres études considèrent que les réformes horizontales telles que l'ouverture à la concurrence et la contractualisation, rapportent plus d'amélioration à l'efficacité des entreprises de transport ferroviaire que la séparation verticale entre la gestion des infrastructures et l'exploitation des trains (Driessen et al, 2006 ; Wetzel, 2008 ; Merket et al, 2010 ; Cantos et al, 2012 ; etc.), alors que d'autres suggèrent que, la séparation verticale favorise un comportement plus efficace (Friebe et al, 2010 ; Mulder et al, 2005 ; etc.).

La plupart de ces études ont utilisé une analyse à deux étapes dont la première consiste à appliquer le modèle DEA traditionnelle pour dégager les scores d'efficacité en optimisant la relation entre les outputs et les inputs. Dans la seconde étapes, elles ont procédé à une estimation économétrique des scores d'efficacité en fonction de certaines variables non discrétionnaires pour évaluer l'impact des aspects institutionnels, structurels et transactionnels sur l'efficacité technique des entreprises ou des systèmes ferroviaires étudiés.

Ces études ont commencé par les travaux de Oum et Yu (1994). Ces auteurs ont estimé l'efficacité technique des systèmes ferroviaires de 19 pays de l'OCDE durant la période 1978-

1989, en se référant à un modèle non paramétrique DEA à deux étapes. Dans la première étape, ils ont dégagé le score d'efficacité via l'optimisation des outputs pour des niveaux donnés des inputs. Les inputs introduits sont le travail, la consommation d'énergie; longueur des voies et le matériel roulants (nombre de voitures, nombre de wagons de fret et nombre de locomotives). Deux variables d'outputs sont sélectionnées en fonction de type de trafic assuré : trafic passagers évalué en passagers-kilomètres transporté et trafic marchandise évalué en tonnes de fret-kilomètres transportés. Dans la seconde étape, ils ont estimé ces scores d'efficacité calculés en fonction d'un certain nombre de facteurs explicatifs exogènes reflétant l'environnement où règnent les compagnies de chemin de fer tels que le pourcentage de subvention par rapport aux coûts, longueur des voies électrifiées et degré d'autonomie managériale. Ils ont montré que l'indice d'autonomie managériale exerce un effet positif et significatif sur le score d'efficacité, tandis que le ratio de subvention affecte négativement l'efficacité des entreprises de transport ferroviaire. Cela implique que les compagnies de chemins de fer fortement subventionnées tendent à être moins efficaces que celles non subventionnées.

Mbangala et Perelman (1997) ont essayé de mesurer les scores d'efficacité technique de 9 compagnies de chemins de fer en Afrique Subsaharienne au cours de la période 1975-1990 par la méthode DEA. Les inputs considérés sont le nombre de travailleurs et d'équipements (voitures et wagons). Les outputs sont représentés par le nombre des voyageurs kilomètres transportés et le tonnage par kilomètre transporté. Autres que ces inputs classiques, ces auteurs ont intégré dans leur modèle des variables caractérisant le réseau (densité des réseaux) et la demande (parcours moyens des passagers et des marchandises, part de trafic passager), afin d'évaluer l'impact de ces facteurs sur l'efficacité technique des chemins de fer de l'Afrique Subsaharienne. Ils ont montré que ces caractéristiques du réseau et de la demande affectent significativement et positivement le niveau d'efficacité des compagnies de chemin de fer.

Afin d'analyser l'effet de propriété (publique ou privée) sur l'efficacité des compagnies de chemin de fer, Cowie (1999) a appliqué la méthode DEA sur 57 compagnies Suisse dont 43 entreprises publiques et 14 privées pour l'année 1995. Il a choisi comme variables inputs le nombre des employés, le nombre des wagons et des locomotives utilisés et une seule variable output évaluée en train kilomètres. L'auteur a déduit que les entreprises privées sont plus efficaces que celles publiques grâce à leur plus grande autonomie de décision.

Merket et al (2010) a appliqué la méthode DEA à deux étapes sur un échantillon de 43 compagnies ferroviaires suédoises, allemandes et britanniques au cours de la période 2006-2007. Dans une première étape, ils ont calculé le score d'efficacité en se référant seulement aux variables inputs et outputs sélectionnées. Dans une seconde étape, une régression Tobit a été envisagée pour évaluer l'impact des facteurs institutionnels, environnementaux et transactionnels sur l'efficacité technique. En se basant sur les résultats, ils confirment que la séparation verticale ne semble pas être un facteur principal de l'efficacité technique et que les coûts de transaction élevés réduisent considérablement l'efficacité technique. Ce résultat est conforme à celui dégagé par Driessen et al (2006) et Wetzel (2008), mais contredit les résultats de Friebel et al. (2010) qui suggèrent que, la séparation verticale entre la gestion de l'infrastructure et celle de trafic favorise un comportement plus efficace.

Cantos et al (2012), ont analysé les impacts de la dérèglementation du secteur de transport ferroviaire européen sur l'efficacité de 23 systèmes ferroviaires au cours de la période 2001-2008 en appliquant les deux approches de l'analyse de la frontière de production DEA et SFA. Ils ont choisi 3 variables input (le nombre d'employés, les équipements roulants,

longueur du réseau ferré), deux variables outputs (passagers-kilomètre transportés (PKT) et Tonne-kilomètre transporté (TKT), et 4 variables institutionnelles exprimées en forme de dummy, (régime réglementaire, séparation verticale, instauration d'un système de franchise et entrée de nouveaux concurrents). Les résultats montrent que la séparation verticale n'est pas significative quelque soit la méthode utilisée, alors que les réformes horizontales conduisent à l'amélioration d'efficacité. Ils ont conclu que la combinaison des réformes verticales et celles horizontales est la meilleure solution permettant de favoriser une amélioration significative de l'efficacité.

Kleinová (2016), a utilisé un modèle non paramétrique DEA à deux étapes pour explorer les déterminants de l'efficacité technique de 20 réseaux ferrés européens sur une période de 10 ans (2002-2011). Les inputs introduits sont le nombre des employés, le nombre total des véhicules et longueur du réseau. Il a choisi deux variables output identifiées selon l'aspect demande et évalués en PKT et TKT respectivement pour le transport des passagers et de marchandises et 5 variables non discrétionnaires (nombre des entreprises ferroviaires, PIB, population, COM index et Rail libéralisation index). Il a montré que 31 DMU sur 218 sont conçus comme techniquement efficaces. Les pays ayant les niveaux d'efficacité technique les plus élevés sont l'Espagne, la France et l'Italie. Alors que les pays de l'Europe de l'Est tels que la Tchéquie, la Pologne et la Slovaquie ont enregistré les scores les plus faibles.

Après avoir dégagé les scores d'efficacité pour chaque compagnie et chaque année, il a procédé à la seconde étape basée sur la régression Tobit. Ces scores d'efficacité ont été ainsi exprimés en fonction de variables non discrétionnaires reflétant l'environnement institutionnel afin de mesurer leur implication sur l'efficacité des entreprises étudiées. Ses résultats ont montré que l'indice de la libéralisation affecte négativement les niveaux d'efficacité technique. De même, l'accroissement du nombre des firmes affecte négativement les niveaux d'efficacité technique. Ces résultats appuient l'idée que, dans certains cas, la libéralisation et une plus grande concurrence entre les opérateurs ferroviaires ne conduisent pas automatiquement à une plus grande performance du service et n'augmentent pas le trafic des passagers.

II. La méthodologie

Comme dans la plupart des études présentées dans la revue de la littérature, la méthodologie choisie pour traiter empiriquement notre problématique sera fondée sur une modélisation DEA à deux étapes. Dans la première étape nous allons évaluer l'efficacité technique de toutes les entreprises en essayant d'établir la relation entre les inputs et les outputs produits par ces entreprises. Dans la deuxième étape, nous utiliserons un modèle Tobit pour estimer la relation entre le score d'efficacité déjà calculé dans la première étape et un certain nombre de variables d'intérêt illustrant les modalités de gouvernance ou de réformes appliquées dans l'industrie ferroviaire pour chaque pays.

La méthode DEA est une technique déterministe non paramétrique pour déterminer la frontière d'efficacité technique d'une industrie en essayant d'optimiser via les techniques de programmation linéaire, le comportement des entreprises dans leurs choix de la combinaison technique de production ou celle des outputs (Charnes et al, 1995). Elle suppose une relation non paramétrique et non linéaire entre les variables Inputs et celles d'outputs sans avoir besoin de n'imposer aucune restriction sur la forme de la fonction de production comme c'est le cas dans la modélisation SFA (stochastic frontier analysis).

Cette méthode DEA a l'avantage de déterminer la frontière de production pour une industrie multi-produits et multi-inputs sans aucune restriction supplémentaire et à mesurer la marge d'amélioration qu'une firme non efficace peut apporter soit à sa consommation des inputs et/ou à sa production d'output (Coelli, 1996). Elle offre ainsi à l'entreprise des renseignements non seulement sur son niveau d'efficacité, mais aussi sur les causes de son inefficacité et les proportions d'ajustement des inputs ou des outputs ou de la taille pour devenir efficace. Dans ce sens, la méthode DEA se présente comme un outil indispensable à la prise de meilleures décisions en matière d'allocation des ressources et de détermination de la taille d'efficacité optimale de la firme.

Cependant, cette méthode ne tient pas compte dans ses calculs de score d'efficacité, des erreurs de mesures qui peuvent affecter les données ou les variables intégrées dans le modèle.

Cette méthode est basée sur un processus comparatif où chaque firme sera comparée aux autres firmes les plus efficaces situées sur la frontière d'efficacité pour pouvoir calculer son score d'efficacité. Les firmes efficaces sont celles qui sont capables de produire le maximum d'output en utilisant une certaine quantité des inputs ou aussi de produire un niveau donné d'output en minimisant l'usage des inputs.

Plusieurs versions de ce modèle DEA ont été développées et qui se distinguent en fonction aussi bien de l'orientation input ou output que de la nature des rendements d'échelle constants ou variables.

L'orientation input vise la minimisation des inputs sans modifier les quantités d'outputs. Elle nous indique la marge de réduction des quantités d'input pour produire la même quantité des outputs. Alors que l'orientation output vise la maximisation des outputs pour un niveau donné des inputs. Elle nous indique la marge d'augmentation des outputs sans modification des inputs.

Sous l'hypothèse des rendements d'échelle constants¹, Charnes et al, (1978), ont développé un modèle DEA CRS². Dans son orientation input, ce modèle s'exprime par un programme de maximisation sous contrainte présenté comme suite :

$$\max_{u_r, v_s} \theta_k = \frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{rk}}{\sum_{s=1}^S v_s x_{sk}}$$

Sous les contraintes

(1)

$$\begin{cases} \frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{rj}}{\sum_{s=1}^S v_s x_{sj}} \leq 1, j = 1, \dots, N \\ u_r, v_s > 0, r = 1, \dots, R; s = 1, \dots, S \end{cases}$$

Avec y_{rj} est l'output r de la firme j ($r=1, \dots, R$ et $j=1 \dots N$)

x_{sj} est la quantité de l'input s utilisée par la firme j (pour tout $s=1 \dots S$)

u_r et v_s représentent les coefficients de pondération des outputs et des inputs qui maximisent l'efficacité de chaque firme.

¹ Cette hypothèse implique que les outputs varient dans la même proportion que les inputs et que la firme fonctionne au minimum de son coût moyen. Dans ce cas, la firme maximise sa productivité totale des facteurs de production.

² Ce modèle est également connu sous le nom de DEA CCR relativement aux noms de ses fondateurs Charnes, Cooper et Rhodes

θ_k est le score d'efficacité de la firme k. Ce score est compris entre 0 et 1.

Si $\theta_k = 1$, la firme k est conçue comme techniquement efficace.

Si $\theta_k < 1$ la firme k est techniquement inefficace.

Pour construire la frontière de production regroupant l'ensemble des firmes qui exercent la meilleure pratique de production, on doit résoudre le programme mathématique (1) qui consiste à déterminer les u_r et les v_s qui maximisent le ratio d'efficacité de chaque firme k sous un certain nombre de contraintes.

Pour pouvoir résoudre ce problème d'optimisation, on doit linéariser sa structure tout en supposant que $\sum_{s=1}^S v_s x_{sk} = 1$. On aura ainsi le programme suivant ³:

$$\begin{aligned} \text{Max } & \sum_{r=1}^R u_r y_{rk} \quad \text{S/c} \\ & \sum_{s=1}^S v_s x_{sj} - \sum_{r=1}^R u_r y_{rj} \geq 0 \quad ; j = 1 \dots N \\ & \sum_{s=1}^S v_s x_{sk} = 1 \\ & u_r, v_s > 0 \end{aligned} \quad (2)$$

En utilisant la dualité en programmation linéaire, on obtient donc, le programme (3) sous la forme d'une enveloppe :

$$\begin{aligned} \text{Min } & \eta_k \\ & \text{S/c} \\ & y_{rk} - \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \leq 0 \quad \text{pour tout } r = 1 \dots R \\ & \mu_k x_{sk} - \sum_{j=1}^N \lambda_j x_{sj} \leq 0 \quad \text{pour tout } s = 1 \dots S \\ & \lambda_j \geq 0 \quad ; \forall j = 1 \dots N \end{aligned} \quad (3)$$

λ_j représentent les poids associés aux outputs et aux inputs de l'organisation j. Ils indiquent la façon dont ces organisations se combinent afin de constituer la frontière d'efficacité, par rapport à laquelle la jème organisation sera comparée.

Cependant, ce modèle DEA-CRS est globalement restrictif car dans la réalité, il est peu probable que les entreprises fonctionnent à leur taille optimale d'efficience.

Banker et al(1984) ont étendu le modèle DEA sous l'hypothèse des rendements d'échelle variables. Ce modèle DEA BCC ou VRS (variable return scale) a apporté une nette précision dans la mesure de l'efficacité en décomposant l'efficacité totale en une efficacité technique pure et une efficacité d'échelle. Le score d'efficacité calculé selon la méthode DEA-VRS indique seul l'efficacité technique pure dépourvue de l'effet d'échelle. Le score d'efficacité d'échelle peut être déduit suite à l'application de la méthode DEA-CRS

Selon Coelli et al (1998), le score d'efficacité d'échelle est déterminé par le rapport entre les scores d'efficacité calculés selon la méthode DEA-CRS et DEA-VRS :

$$SE = \frac{\theta^{*CRS}}{\theta^{*VRS}} \quad (4)$$

Où SE est l'efficacité d'échelle. Avec, $0 \leq SE \leq 1$.

L'efficacité d'échelle n'est atteinte que lorsque les deux scores d'efficacité CRS et VRS sont équivalents. En d'autres termes, si les deux modèles DEA-CRS et DEA-VRS aboutissent au

³ Pour plus de détails voir Charnes A., Cooper W.W. et Rhodes E. (1978),

même résultat, ceci indique que la firme opère à sa taille optimale et que les rendements d'échelle sont constants.

La décomposition de cette notion d'efficacité en efficacité technique pure et d'échelle est fortement indispensable à la prise de décision des entreprises pour savoir choisir les meilleures actions susceptibles d'améliorer leur niveau d'efficacité et de combler leurs insuffisances soit dans l'allocation des ressources soit dans la taille de l'entreprise.

Notons que la version du modèle DEA à rendements d'échelle variable (DEA-VRS) est fondée sur les mêmes programmes d'optimisation que ceux appliqués dans le modèle DEA-CRS mais, en ajoutant une hypothèse supplémentaire sur la convexité de l'ensemble de production. Cette hypothèse peut être systématisée par la condition : $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$.

Pour estimer l'impact des réformes déréglementaires sur l'efficacité technique des compagnies de chemin de fer, nous allons utiliser dans une seconde étape un modèle Tobit qui vise une estimation économétrique de la relation entre les scores d'efficacité dégagés par la méthode DEA-VRS et un certain nombre de variables exogènes illustrant les différentes réformes.

Tant que la variable dépendante est une variable latente illustrant d'une manière approximative l'efficacité et dont sa valeur est bornée entre 0 et 1, le modèle Tobit se réfère à une régression censurée ou tronquée, nécessitant un traitement économétrique spécifique (Amemiya, 1985). Le modèle Tobit est spécifié par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} Y^*_j &= \alpha' Z_j + \varepsilon_j \\ Y^*_j &> 0 \text{ si } Y_j = Y_j^* \\ Y^*_j &< 0 \text{ si } Y_j = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Avec Y^*_j est une variable latente qui est observable lorsqu'elle est positive. Lorsqu'elle est négative, l'observation est censurée.

Z_{it} est le vecteur des variables explicatives généralement non contrôlées par l'entreprise j .

α est un vecteur de coefficients à estimer indiquant l'effet et le poids explicatif de chaque élément du vecteur Z .

ε_{it} est le terme d'erreur supposé indépendamment distribué selon une loi normale tronquée de moyenne nulle et de variance σ^2 (Deprins, 1986).

III. Choix des variables et présentation des données:

Une compagnie de transport ferroviaire est conçue comme une unité de décision qui transforme certaines quantités des inputs en un ou plusieurs outputs. Elle est considérée efficace lorsque son output atteint le niveau maximal enregistré sur la frontière des possibilités techniques de production, en exploitant pleinement ses moyens disponibles.

Cependant, cette conception théorique de l'efficacité et de la frontière de production trouve des difficultés d'être appliquée dans une industrie spécifique telle que le chemin de fer. Ces difficultés résident dans l'identification d'une part, des inputs et des outputs d'une compagnie de chemin de fer pour pouvoir déterminer sa frontière de production et d'autre part, des sources éventuelles de son inefficacité.

Une définition précise des inputs et des outputs est cruciale pour une application réussite et significative de la méthode DEA. Ces variables doivent refléter aussi bien le processus de production des compagnies de chemin de fer que leurs objectifs. Une spécification erronée ou

mal définie de ces variables conduira inévitablement à la dérivation des résultats qui seront aberrants.

En se référant à la revue de la littérature sur l'évaluation de la performance du secteur de transport ferroviaire, plusieurs indicateurs d'outputs et d'inputs ont été retenus sans qu'il existe aucun consensus entre les auteurs sur la définition et l'identification d'un indicateur claire et standard de ces variables.

Cette divergence et nuance dans l'identification de ces variables résident dans les caractéristiques technico-économiques du secteur. En fait, les compagnies de chemin de fer sont des entreprises en réseaux, multiproduits offrant des services à qualité variable. Elles offrent aussi bien des quantités qu'une qualité de services (vitesse commerciale, ponctualité, fréquence, accessibilité, etc.). Par ailleurs, les compagnies de chemins de fer sont des entreprises intégrées qui exploitent à la fois des trains et des infrastructures. Il existe ainsi une forte interdépendance entre ces deux composantes de l'offre de transport ferroviaire (rail et train) aussi bien du point de vue technique qu'organisationnel (Quinet, 1998).

Cependant la plupart des études ont agrégé cet output en une seule mesure évaluée par le produit entre la distance parcourue et soit la capacité des moyens roulants mis en exploitation soit le trafic. Elle distingue entre le transport des passagers et celui des marchandises en supposant qu'une entreprise de transport ferroviaire offre simultanément deux catégories de services tout à fait différents : services passagers et services marchandises. Ces deux services se différencient en matière aussi bien des matériels de transport nécessaires que du planning et de l'organisation des voyages (Farsi et al, 2005).

Elle distingue aussi entre deux approches pour évaluer cet output : une approche offre qui évalue la capacité offerte de l'entreprise et mesure l'output en tonne (ou train) kilomètre offert (TKO) en agrégeant la distance par la capacité des moyens roulants et une approche demande évalue le trafic et mesure l'output en tonne (ou passagers) kilomètre transporté (TKT ou PKT).

Tant que le service de transport est non stockable et que sa capacité offerte est rigide au moins à court terme, ces deux indicateurs sont distincts et leur rapport indique le taux moyen d'occupation des trains ou la capacité de l'entreprise à exploiter commercialement ses moyens roulants mis en exploitation. Ce taux d'occupation est un indicateur aussi bien de la qualité des services offerts que de l'efficacité de l'utilisation des capacités offertes que de la rentabilité des voyages. Un taux d'occupation qui dépasse les 100% indique une surexploitation des capacités offertes, ce qui engendre une congestion, un amortissement rapide des équipements et une détérioration de la qualité de service. Alors qu'un taux d'occupation faible réduit la rentabilité de l'entreprise et la prive des économies de densité (Quinet, 1998).

Certains auteurs (Cowie, 1999 ; Costa et Markellos, 1997 ; Contos et al, 2000 ; Graham, 2008 ; etc.) justifient leur choix de l'output train-Km ou TKO d'une part, par l'objectif de l'étude de l'efficacité technique qui vise à optimiser l'exploitation des inputs pour maximiser la capacité offerte, d'autre part, par le fait que la demande s'échappe de l'acte de l'entreprise.

D'autres études (Oum et Yu, 1994 ; Mbangala et Perelman, 1997 ; Cantos et al, 2012 ; Kleinová, 2016 ; etc.) ont utilisé l'output agrégé commercial (PKT et TKT) qui reflète mieux la capacité de la compagnie à exploiter d'une manière plus rationnelle sa capacité offerte. Elles considèrent que l'indicateur TKO est une mesure de l'input et non de l'output. En fait, cette capacité offerte est calculée par le produit entre le nombre de voyages réalisés par unité de temps de référence (une année), la capacité moyenne de train et la distance moyenne d'un

trajet. Ce TKO reste constant particulièrement pour le trafic régulier au moins à cours terme. Il est ainsi planifié au préalable particulièrement par les autorités publiques concernées lorsque la compagnie est de nature publique. Il ne reflète pas le vrai output de l'entreprise. Il n'évolue ni en fonction des facteurs de production, ni des facteurs de contrôle qui expliquent l'inefficacité.

Les indicateurs de trafic reflètent ainsi mieux l'objectif des compagnies de transport ferroviaire qui cherchent d'une part, à maximiser l'utilisation de leur capacité offerte (maximiser le taux d'occupation) et éviter les retours ou voyages à vide et d'autre part, à satisfaire les exigences qualitatives des usagers (Oum et Yu, 1994).

Concernant les variables inputs, la plupart des études adopte les trois inputs classiques de toute firme tels que le capital, le carburant et le travail. Mais, le capital a été évalué différemment d'une étude à une autre. Certaines études (Oum et Yu, 1994 ; Mbangala et Perelman, 1997 ; etc.) ont agrégé ce capital par le nombre de matériels roulants utilisés (nombre de voitures, nombre de wagons de fret et nombre de locomotives), d'autres auteurs ont utilisé la capacité offerte de chaque type d'équipements roulants (Kleinová, 2016 ; Kutlar et al, 2012 ;etc.), d'autres ont ajouté la longueur des voies ferrées exploitées par l'entreprise (Cantos et al, 2012 ; Kleinová, 2016 ; etc.).

Cependant, autres que ces variables inputs et outputs, plusieurs autres variables non discrétionnaires ont été utilisées pour mieux expliquer les sources des écarts d'efficacité entre les compagnies de transport ferroviaire. Ces écarts d'efficacité ne sont pas seulement expliqués par une mauvaise allocation des ressources, mais aussi par des facteurs exogènes déterminés en dehors de l'action de l'entreprise. Ces facteurs concernent l'environnement économique, géographique, social, structurel et institutionnel où règne l'entreprise. En fait, les compagnies de chemin de fer fonctionnent dans différents environnements qui influencent aussi bien leurs conditions de l'offre, que leur demande, ainsi que leur niveau d'efficacité.

Dans la plupart des travaux, ces facteurs de contrôle sont relatifs à la configuration du réseau telle que la densité du réseau, longueur des voies ferrées⁴ ou aussi à des variables qui caractérisent certains aspects de la demande telles que la part de trafic passagers dans le trafic total, le parcours moyen par voyageur, longueur des lignes électrifiées, la population, le PIB, etc. ou aussi des variables structurelles relatives à la structure du marché pour tester l'impact de la concurrence sur l'efficacité de l'entreprise. Plusieurs variables ont été retenues pour évaluer cette structure, telles que le nombre des entreprises fonctionnant dans le secteur, le niveau de concentration, etc.

L'inefficacité des entreprises de transport ferroviaire peut être aussi influencée par leurs régimes de gouvernances ou le niveau de la libéralisation de ce secteur ou aussi les modalités des réformes appliquées.

Notons à ce niveau que le secteur de transport ferroviaire était depuis longtemps un secteur public structuré sous forme d'un monopole naturel intégré (Nasch et Preston, 1993). Cependant, cette forme de gouvernance basée sur une intervention massive de l'Etat dans les diverses fonctions du secteur, n'a pas pu aboutir à ses objectifs et était une source de plusieurs défaillances que ce soit en matière de perte de part de marché, de déficits cumulés des entreprises et demandes accrues de subventions, manque de productivité et d'efficacité, etc. (Gathon et Pestieau, 1995) .

⁴ Certaines de ces variables non discrétionnaires qui reflètent les caractéristiques réseaux de l'industrie ferroviaire, ont été traitées dans certaines études comme des facteurs de production et intégrées directement dans le calcul des scores d'efficacité via l'application du modèle DEA.

La nécessité de remédier à cette situation de défaillance a conduit les autorités concernées à concevoir un éventail d'actions de réformes qui vise à réduire les interventions des Etats, à encourager les initiatives privées et à donner un rôle plus important aux mécanismes du marché pour gouverner ce secteur (Bradshaw, 2001).

Plusieurs modalités déréglementaires ont été appliquées telles que la séparation verticale entre la gestion des infrastructures ferrées et l'exploitation techniques et commerciales des trains, l'ouverture à la concurrence, la privatisation des compagnies publiques, la concession ou contrat de franchise, etc. (Campos et Cantos, 2000).

Plusieurs variables institutionnelles ont été retenues dans les études empiriques telles que les subventions et degré d'autonomie managériale (Oum et Yu, 1994), régime réglementaire, séparation verticale, instauration d'un système de franchise et entrée de nouveaux concurrents (Cantos et al, 2012), nombre des entreprises ferroviaires, COM index et Rail liberalisation index (Kleinová, 2016), etc.

Généralement ces variables non discrétionnaires ne seront pas intégrées directement dans le modèle DEA pour calculer les scores d'efficacité, mais elles seront utilisées comme des variables explicatives de l'efficacité et qui s'interviennent dans un second modèle de régression linéaire pour exprimer leur significativité et leur pouvoir explicatif.

Dans notre étude nous avons choisi comme variables outputs le nombre de passagers par kilomètre transportés (PKT) et les tonnes par kilomètre transportés (TKT)⁵. Trois variables inputs ont été aussi sélectionnées telles que le nombre d'employés, le stock de capital évalué par le nombre de voitures, de wagons de fret et de locomotives et la longueur totale des rails pour chaque pays. Les variables institutionnelles choisies sont de nombre 4 illustrant les diverses formes de réformes adoptées telles que la séparation verticale, séparation horizontale, gouvernance et nombre des concurrents.

Comme potentiels déterminants de l'efficacité technique, nous avons retenu les variables de contrôle suivant: superficie, population, PIB par habitant et densité de l'infrastructure.

Le choix de ces variables inputs, outputs et non discrétionnaires est justifié d'une part, par l'objectif assigné à notre étude qui cherche à évaluer l'impact des réformes sur l'efficacité du secteur de transport ferroviaire et d'autres parts, par la disponibilité des données.

Les données utilisées dans cette étude ont la structure de données du panel couvrant 18 compagnies de transport ferroviaire qui s'étalent de 2014-2017. Ces compagnies appartiennent à 11 pays localisés dans trois continents (Europe, Afrique et Asie).

Le tableau 1 décrit ces compagnies, leurs pays d'appartenance et les caractéristiques de leurs réseaux. Le choix de notre échantillon réside dans l'objectif assigné à notre travail tel que : expliquer l'écart de performance entre les compagnies de chemin de fer des pays développés qui ont une grande expérience en matière de réformes de leurs secteur de transport ferroviaire et ceux en voie de développement qui maintiennent encore ou au plus ont récemment appliquées quelques réformes.

⁵ Le nombre de passagers-km est un indicateur agrégé du service de transport des voyageurs, qui mesure le produit du nombre de voyageurs transportés et la distance parcourue.

Le nombre de tonnes-km (TKT) est un indicateur du service de transport de marchandises qui mesure le produit entre le nombre de tonnes de marchandises transportées et la distance parcourue.

Plusieurs sources ont été consultées pour collecter notre base de données telles que International Railway Statistics, Banque mondiale, Eurostat, Sustainable Development Goals Indicators (United Nations Statistics Division).

Tableau 1 : Caractéristiques principales des réseaux ferroviaires (moyennes sur la période 2014-2017)

Pays	Compagnie	Longueur des lignes (km)	Matériels roulants (unités)	Effectif moyen de personnel (milliers)	Passagers-kilomètres(millions)	Tonnes-kilomètres(millions)
Tunisie	SNCT	2244	3804,25	4,85	1253,5	1005,5
Algérie	SNTF	3893,5	11843	12,355	1248,25	990,25
Egypte	ENR	5163,5	9569	69,9425	40837	1592
Maroc	ONCF	2109	6373,25	7,79	5271,75	4694,255
France	SNCF	29554,75	35726,5	100,495	85456,25	32938,75
France	RFF	30013	29496,5	1813,5	7027,25	61377,5
Italie	FNM	317,5	905	2,22	1186,25	73458,25
Italie	FS	16755,75	29994	69,945	41783	16539,75
Espagne	ADIF	15298,5	17847,75	13,19	55,55	11859,7625
Espagne	FEVE	226	321	0,821	40	7870,015
Espagne	EUSKOTREN	230	383	0,895	279,5	14,4
Espagne	ETS	1192	1484	1,95	181,25	383,75
Espagne	FGC	273	638,5	1,2425	861,75	42
Espagne	RENFE	15304,5	17590,5	14,1025	24982,25	6952
Suisse	SBB CFF FFS	3201,25	12272,5	32,9675	18348,25	12421,5
Allemagne	DB AG	33406,25	124684	301,0425	80384,75	83736,5
Iran	RAI	8575,75	25829,25	9,385	14911,25	25336,75
Turquie	TCDD	10139	20553,25	24,47	4528	10848,25

Le tableau 2 présente les statistiques descriptives pour toutes les variables outputs et inputs pour l'ensemble de l'échantillon, y compris leurs valeurs moyennes respectives, écart type et valeurs maximales et minimales.

Tableau 2: Analyse descriptive des données

Variables	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Longueur des lignes	72	9883.181	10931.78	226	33488
Matériels roulants	72	19389.57	28237.69	18	127730
Effectif moyen du personnel	72	137.8125	429.019	0.27	2594
Nombre de passagers/km transportés (PKT)	72	18257.54	26526.1	38.8	90638

Tonnes/km transportés (TKT)	72	19558.95	26048.33	14	94564
-----------------------------	----	----------	----------	----	-------

Selon ce tableau, nous constatons une grande hétérogénéité entre les compagnies que ce soit en termes de taille des firmes que du trafic assuré que des moyens exploités. Par exemple, les compagnies espagnoles particulièrement celles privées présentent une taille très petite par rapport aux autres compagnies aussi bien en matière du réseau que du matériel que du trafic. La compagnie française (SNCF) s'avère la plus géante de notre échantillon avec une taille de réseau de plus de 29 milles Km et un trafic de plus de 33 milliards de TKT et 85 milliards de PKT. De même il existe un écart considérable entre les réseaux et le trafic ferrés entre les pays développés et ceux en voies de développements (PED). Les compagnies appartenants aux PED sont presque homogènes avec un petit écart en faveur de la Turquie en matière de taille de réseau et de l'Iran en terme de trafic.

Les structures organisationnelles des différents systèmes ferroviaires constituant notre échantillon sont aussi très hétérogènes. Il existe des systèmes ferroviaires gérés par une seule entreprise publique avec une infrastructure intégrée verticalement et des services d'exploitation intégrés horizontalement. Le transport ferroviaire de l'Algérie, Egypte, Tunisie, Maroc et l'Iran échappe à la concurrence et occupe encore une position de monopole naturel public. Certains de ces pays ont entamé récemment une stratégie de séparation verticale (Maroc et l'Algérie). La libéralisation de ce secteur n'est qu'à ses débuts dans ces pays et elle est plus concrétisée en Turquie.

Néanmoins nous constatons que tous les pays de l'Europe, ont ouvert leur secteur ferroviaire à la concurrence et ont procédé à des réformes verticales et horizontales depuis des années. Cependant, nous constatons que leur opérateur national historique couvre encore la majorité du marché et que l'Allemagne est la plus avancée dans son processus de libéralisation en adoptant simultanément les trois réformes retenues (séparation verticale, séparation horizontale et ouverture à la concurrence).

Par ailleurs, il existe une forte hétérogénéité entre les pays de notre échantillon en matière de variables de contrôle. A titre d'exemple, le PIB par habitant en 2017 est de 57.4 milles dollars en Suisse (en utilisant la parité de pouvoir d'achat aux \$ constants de 2011), soit presque 8 fois celui du Maroc. Normalement, cette variable indiquant la richesse de la nation, influence positivement la demande de transport ferroviaire que ce soit de fret ou de passagers, ce qui peut expliquer dans certaines mesures l'importance du trafic suisse par rapport à celui du Maroc (19 milliards PKT et 16.6 milliards TKT pour la Suisse contre 5.2 milliards PKT et 4.7. milliards TKT pour le Maroc) malgré l'écart notable aussi bien en termes de population et superficie en faveur du Maroc. De même la densité de l'infrastructure ferroviaire en tant qu'un rapport entre la longueur du réseau ferré et la superficie de chaque nation, varie de 0.11 Km/mille Km² pour la France à 0.0016 pour l'Algérie. La France dispose du réseau ferré le plus étendu et enregistre le flux de trafic que ce soit de voyageurs ou de marchandise le plus important.

IV. Application du modèle DEA et Interprétation des résultats

Dans une première étape de notre analyse empirique, nous allons essayer de déterminer les scores d'efficacité technique de 18 compagnies ferroviaires composant notre échantillon tout

au long de la période d'étude qui s'étale de 2014 à 2017, en utilisant la méthode DEA dans sa version VRS et son orientation input, tout en enveloppant 5 variables: 2 outputs et 3 inputs.

Le tableau 3 donne les résultats des scores d'efficacité pour les pays de notre échantillon⁶. Les résultats dégagés montrent que le score moyen d'efficacité technique pure enregistré est assez élevé (0.75) indiquant que les entreprises de transport ferroviaire de notre échantillon fonctionnent d'une manière efficace avec un potentiel d'amélioration. Ce score moyen d'efficacité technique est très variable entre les différentes unités décisionnelles. Il varie de 1 à 0.11.

Un score d'efficacité égal à 1 indique que l'entreprise est techniquement efficace dans le sens qu'elle minimise l'exploitation de ses ressources afin de produire un certain niveau d'output. Alors qu'un score inférieur à 1, indique que l'entreprise est inefficace et souffre d'une sur-utilisation de ses ressources ou aussi d'un gaspillage dans l'exploitation de ses moyens de production.

Tableau 3: Scores de l'efficacité technique et d'échelle des firmes

Compagnie	2014		2015		2016		2017		Moy ET VRS	Moy EE Scale
	ET VRS	EE Scale	ET VR S	EE Scale	ET VR S	EE Scale	ET VR S	EE Scale		
SNCFT	0.28	0.9	0.25 3	0.99 5	0.29 5	0.84 6	0.22 8	0.99 3	0.264	0.933
SNTF	0.102	0.94 6	0.11 7	0.97 5	0.11 3	0.99 0	0.10 5	0.95 7	0.109	0.957
ENR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ONCF	1	1	1	1	0.81 0	1	0.69 6	0.99 2	0.876	0.998
SNCF	1	0.84 7	1	1	1	1	1	1	1	0.962
RFF	0.053	1	0.07 8	0.99 4	0.09 9	0.99 8	0.27 0	0.24 8	0.125	0.81
FNM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FS	0.792	0.89 8	0.69 2	1	0.76 2	1	0.70 6	1	0.738	0.974
ADIF	1	1	1	1	1	0.93 8	1	0.12 4	1	0.765
ETS	1	1	1	1	1	0.12 9	1	1	1	0.782
EUSKOTRE N	1	0.36 2	1	1	1	1	1	1	1	0.840
FEVE	1	0.11 2	0.29 9	0.32 2	0.50 3	0.14 2	0.21 6	0.32 5	0.504	0.225
FGC	1	0.92 2	1	0.96 3	1	0.99 8	1	0.95 6	1	0.960
RENFE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

⁶ Pour déterminer les scores de l'efficacité, nous avons eu recours au logiciel DEAP pour une version 2.1 implanté par Coelli (1996).

SBB CFF	0.867	0.99	0.87	0.99	0.92	1	0.92	0.99	0.897	0.999
FFS		8	4	9	1		8	9		
DB AG	1	0.41	1	0.41	1	0.41	1	0.41	1	0.415
		9		5		5		0		
RAI	1	1	1	1	0.86	1	0.85	0.93	0.929	0.982
					4		4	0		
TCDD	0.178	0.98	0.18	0.99	0.17	0.99	0.16	0.98	0.175	0.992
		8	6	5	0	5	7	9		
Moyenne	0.793	0.85	0.75	0.92	0.75	0.85	0.73	0.82		
		5	0	5	2	8	2	9		

ET: efficacité technique EE: efficacité d'échelle

Source : réalisé par nos

soins à partir du logiciel DEAP XP

A partir de ce tableau 3, nous constatons que 9 sociétés parmi 18 sont considérées comme techniquement efficaces enregistrant en moyenne des scores d'efficacité égaux à 1, telles que ENR (Egypte), SNCF (France), FNM (Italie), ADIF (Espagne), ETS (Espagne), EUSKOTREN (Espagne), FGC (Espagne), RENFE (Espagne), DB AG (Allemagne). Alors, il existe quatre compagnies qui marquent des scores d'efficacité très faible telles que SNCFT (Tunisie), TCDD (Turquie), RFF (France) et SNTF (Algérie). Les 5 autres entreprises sont inefficaces mais ont un score d'efficacité supérieur à 0.5.

On peut remarquer aussi que le nombre des firmes efficaces baisse durant la période d'étude (12 firmes efficaces en 2014, 11 en 2015 et 9 pour les années 2016 et 2017).

Notons aussi que la plupart des compagnies européennes sont considérées comme efficaces particulièrement celles révélant d'opérateur national historique. Alors que les compagnies de transport ferroviaire des pays en développement souffrent d'une inefficacité (sauf pour l'Egypte) avec des scores d'efficacité très variables en passant 0.11 pour la SNTF (Algérie) à 0.93 pour le RAI (Iran).

Ce résultat montre qu'il existe des économies d'échelle, et que les petites compagnies fragmentées semblent avoir des difficultés pour les exploiter. Le score d'efficacité d'échelle est nettement plus élevé que celui de l'efficacité technique aussi bien pour les compagnies Européennes que celles des PED. Il est aussi plus important pour les compagnies intégrées que celle segmentées que ce soit horizontalement ou verticalement. Ce qui explique que la segmentation ou la séparation verticale ou horizontale peut améliorer le score d'efficacité technique pure, mais elle réduit les potentielles des économies d'échelle.

Les compagnies ferroviaires à petite taille sont moins efficaces que les autres et peuvent accroître leurs tailles par les processus de concentration. Cependant, si la capacité offerte de ces entreprises n'est pas bien exploitée, la grande taille réduit énormément leur efficacité.

Les résultats du benchmarking démontrent qu'en moyenne, les sociétés techniquement efficaces comparées à celles inefficaces sont plus productives aussi bien en matière du travail que du capital que de la taille de leurs réseaux.

Parmi les firmes les moins efficaces on trouve la SNCFT (Tunisie) avec un score moyen d'efficacité de 0.264 et qui a resté presque constant tout au long de la période d'étude.

Plusieurs facteurs endogènes se sont combinés pour expliquer son inefficacité par rapport aux autres entreprises ferroviaires efficaces.

En se référant à notre base de données, nous pouvons justifier la faiblesse de l'efficacité de la SNCFT par aussi bien une faible productivité de son travail, la sous exploitation de son réseau et de ses moyens de production. Cette société souffre à la fois d'un problème de sur effectif et un faible taux d'exploitation aussi bien du réseau que des moyens mis à sa disposition.

Tableau 4 : Les résultats de la firme SNCFT pour l'année 2014

Results for firm: 1					
Technical efficiency = 0.280					
Scale efficiency = 0.900 (irs)					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	value
output	1	1298.000	0.000	0.000	1298.000
output	2	2024.000	0.000	0.000	2024.000
input	1	2244.000	-1615.129	-89.463	539.408
input	2	4014.000	-2889.095	0.000	1124.905
input	3	5.000	-3.599	0.000	1.401

Selon l'orientation input choisie, pour être efficace la SNCFT doit réduire ses inputs tout en offrant la même quantité de services que ce soit de fret ou de passagers. A titre d'exemple, et en se référant aux résultats du tableau 4, la SNCFT doit diminuer la longueur des lignes en passant de 2244 Km à environ 539 Km. Ceci implique que le réseau disponible n'est pas pleinement exploité et que le trafic enregistré est inadéquat avec les moyens mis en exploitation. Ce trafic ferroviaire est très faible par rapport à l'input dédié. Notons aussi qu'une bonne partie de ces voies ferrées sont vétustes, mal entretenu et même totalement délaissées. Dans la pratique seulement 600 Km de voies sont intensivement exploitées reliant la capitale Tunis avec les principales villes littorales ou aussi les zones de gisement de phosphate avec les zones portuaires.

Par ailleurs, une sous-exploitation de matériels roulants est constatée et un sureffectif flagrant caractérise la structure organisationnelle de l'entreprise. Pour atteindre la frontière d'efficacité, la SNCFT doit réduire la taille de sa flotte de 2889 en passant de 4014 unités à environ 1125 unités, et son effectif de 3599 travailleurs (soit 72 % de son effectif).

Un travailleur de la SNCFT (Tunisie) produit en moyenne chaque année 261.2 milles PKT et 141.6 milles TKT alors celui pour la compagnie Allemande de chemin de fer (DB AG) est capable de produire 80422 milles PKT et 94564 TKT, soit presque 40 fois plus productif.

De même pour transporter un million de PKT/an et un million de TKT/an, la SNCFT nécessite 1.99 unité de capital roulant alors que la FNM (Italie) exploite seulement 0.01 unités de capital pour produire le même niveau d'output. Aussi, chaque kilomètre de rail permet de produire en moyenne 0.58 millions de PKT et 0.3 millions de TKT seulement, alors que cette productivité du réseau est de 3.73 millions de PKT et 219.5 millions de TKT pour la compagnie Italienne (FNM)

Donc, la faiblesse des rendements des travailleurs, du capital et du réseau explique bien l'inefficacité technique de la société tunisienne de transport ferroviaire.

Vu sa nature publique, la SNCFT présente depuis sa création un réservoir qui vise à absorber les chômeurs, ce qui a engendré des problèmes de sureffectif. La capacité disponible du capital est largement insuffisante pour absorber l'effectif engagé. Par voie de conséquence, la

productivité marginale du travail sera négative et cette entreprise fonctionne ainsi en dehors de la zone d'efficacité économique du fait que sa production sera décroissante.

Plusieurs études (Encaoua, 1996 ; Gathon et Pestieau, 1996 ; Friebe et al, 2010 ; etc.) ont mis l'accent sur ce point et ont montré que les entreprises publiques en position de monopole n'incitent pas leurs employés à fournir un effort important à cause de l'asymétrie d'information et l'absence d'objectif lucratif qui emmène ces entreprises à être plus rationnelles et à minimiser leurs coûts de production.

Par ailleurs, l'incapacité de combler l'inefficacité de la SNCFT réside dans ses besoins de financement ainsi que dans la faiblesse du trafic capté. Les déficits enregistrés par cette entreprise, l'enrichissement de ses coûts de production, l'insuffisance du budget de l'Etat pour la subventionner, ont tous contribué au vieillissement de son parc de matériel roulant et à leurs sous investissements et sous équipements et par voie de conséquence à leurs défaillances techniques. Pour que cette entreprise puisse combler ses déficits budgétaires, les autorités responsables doivent trouver des solutions et offrir les moyens financiers nécessaires au renouvellement du parc de matériel roulant et à l'augmentation des capacités de production. Plusieurs solutions peuvent être envisagées telles que les accords de partenariat public privé.

V. Application du modèle Tobit et Interprétation des résultats

Cependant, ces résultats obtenus par l'application du modèle DEA, limitent l'explication de l'écart d'efficacité entre les entreprises de notre échantillon aux seules sources d'allocation des ressources en proposant des processus d'ajustement des ressources utilisées pour que les firmes inefficaces puissent atteindre la frontière d'efficacité technique. Ils s'avèrent insuffisants pour élaborer des politiques de transport ferroviaire adéquates pour une meilleure productivité et compétitivité de ce secteur. Pour cette raison et à l'instar de Oum et Yu (1994), Cantos et al. (2000, 2012), Merkert et al, (2010), Kleinová (2016), etc. nous nous procédons à une seconde étape de régression Tobit afin de mieux expliquer les sources exogènes d'écart d'efficacité entre les entreprises étudiées en mettant l'accent particulièrement sur l'impact des mesures de libéralisation du marché ferroviaire sur l'efficacité pour savoir si ces réformes déréglementaires ont apporté des améliorations à l'efficacité technique des compagnies de chemin de fer ou non.

Econométriquement parlant, la variable explicative sera le score d'efficacité déjà calculé dans la première estimation du modèle DEA. Comme ces scores d'efficacité technique prennent des valeurs comprises entre zéro et un, nous utilisons le modèle Tobit

Le modèle retenu dans ce cadre s'exprime sous la forme suivante:

$$SE_{it} = \alpha_0 + \sum_{i=0}^N \alpha_i Z_{it} + \varepsilon_i$$

SE_{it} représente le score d'efficacité de la compagnie i à la date t . Ces scores sont dégagés par l'application du modèle DEA dans sa version VRS et orientation input.

Z_{it} est le vecteur des variables explicatives

β : Le vecteur des paramètres à estimer

ε_i : Le terme aléatoire qui suit une loi normale de moyenne nulle et d'écart type constant :

$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon)$

8 variables non discrétionnaires ont été retenues réparties en deux groupes : variables institutionnelles de nombre 4 illustrant les mesures de restructuration classées selon l'étendue de la séparation, la participation des compagnies privées ainsi que le nombre de concurrents et variables environnementales qui peuvent influencer les conditions de l'offre et de la demande du marché de transport ferroviaire sans qu'elles puissent être influées par le comportement des entreprises.

Ces variables explicatives se présentent sous deux formes de données. Des données quantitatives et d'autres qualitatives. Les variables qualitatives seront exprimées sous formes binaire prenant la valeur 1 si elles sont observées ou vérifiées et 0 sinon.

Le tableau suivant décrit les caractéristiques statistiques de toutes ces variables

Tableau 5 : Présentation des données de la régression Tobit

Variable	Moyenne	Minimale	Maximale	Ecart type
SE : Score d'efficacité	0.75	0.11	1	0.342
Z ₁ : Séparation verticale	0.44	0	1	0.51
Z ₂ : Séparation horizontale;	0.52	0	1	0.504
Z ₃ : Gouvernance: 0 s'il s'agit d'une entreprise publique et 1 sinon	0.5	0	1	0.5
Z ₄ : Nombre des concurrents	43.23	1	450	91.48
Z ₅ : Superficie (milliers km ²)	641274,510	41000	2382000	552270,250
Z ₆ : Population (en million)	51,320	8,1	91,510	21,579
Z ₇ : PIB par habitant (\$ PPA internationaux constants de 2011)	29301,758	7078,881	57427,893	12755,331
Z ₈ : Densité de l'infrastructure (Km/Km ²)	0,025	0,00044664	0,094	0,029

Les résultats de l'analyse de cette estimation sont présentés dans le tableau 6.

Les résultats de régression montrent que les réformes déréglementaires ont un impact positif sur l'efficacité des compagnies de chemins de fer. En effet, les quatre variables institutionnelles montrent un signe positif indiquant que ces actions déréglementaires contribuent à l'augmentation de l'efficacité.

Tableau 6 : Les résultats de la régression Tobit

Variable	coefficient	Std. err	z
Constante	1.952	0.8933	2.19
Séparation verticale	0.03319	0.14713	0.23
Séparation horizontale;	2.336	1.321	2.13
Gouvernance	2.683	1.2018	2.23
Nombre des concurrents	0.0057	0.0915	0.17
Superficie	3.79	0.87	1.50
Population	0.00353	0.153	0.14
PIB par habitant	-0.005	0.000353	-1.41
Densité de l'infrastructure	35.82	0.96	2.21

Concernant la séparation verticale, le coefficient estimé est statistiquement significatif impliquant que l'application de la réforme de séparation entre la gestion de l'infrastructure et

celle de trafic permet d'améliorer le score d'efficacité de 0.033%. Son effet positif est ainsi très faible par rapport aux actions de la séparation horizontale et la modalité de gouvernance.

Ce résultat est conforme aux études élaborées par Driessen et al (2006), Wetzel (2008), Merket et al (2010), etc. qui ont montré que la séparation verticale en soi, n'apporte pas une amélioration significative des niveaux d'efficacité.

Par contre, les réformes horizontales apportent une meilleure contribution à l'accroissement de l'efficacité. L'application de cette réforme permet d'améliorer le score d'efficacité de 2.33%.

Selon notre régression Tobit, nous constatons aussi que le régime de gouvernance des entreprises de transport ferroviaire affecte positivement leurs scores d'efficacité. En fait, le passage d'une structure d'entreprise publique à une structure privée permet d'améliorer l'efficacité de 2.68%. Donc, l'efficacité d'une entreprise s'améliore avec sa privatisation ou aussi les entreprises privées sont plus efficaces techniquement que celles publiques

Ceci peut être expliqué par le fait que la privatisation accorde plus d'autonomie de décisions aux compagnies, limite ses contraintes institutionnelles, incite la compagnie privatisée à fournir plus d'effort et par conséquent favorise l'efficacité technique (Gathon et Pestieau, 1995). Plusieurs études considèrent que l'une des causes de l'inefficacité et de l'incompétitivité des entreprises est leur structure publique et l'intervention massive de l'Etat dans leurs mécanismes de fonctionnement et que l'une des solutions efficaces est leur privatisation (Coelli et Perelman, 2000 ; Cantos et al, 2012, etc.).

Donc, les résultats de l'estimation indiquent que la gestion privée de trafic ferroviaire est le mode de gouvernance le plus adéquat pour améliorer l'efficacité des entreprises de transport ferroviaire. A titre d'exemple, la firme publique italienne FS enregistre un score d'efficacité technique moyenne de 0.738 durant la période d'estimation. Cependant, la firme privée FNM est stagnée en un état d'efficacité technique pendant les 4 années.

Par ailleurs, selon nos résultats, nous constatons que les compagnies confrontées à une concurrence directe illustrent un score d'efficacité plus important que celles protégées contre la concurrence. Donc, l'ouverture à la concurrence et à l'initiative privée renforce l'efficacité de l'entreprise. Cette concurrence incite les compagnies à être mieux productives et compétitives tout en agissant sur leur coût et la qualité de leurs services pour mieux satisfaire leur clientèle et améliorer leur attractivité. Mais, l'entrée d'un nouveau concurrent ou l'augmentation du nombre d'entreprise n'affecte pas d'une manière significative l'efficacité.

Ce résultat contredit celui déduit par plusieurs études. Ceci peut être expliqué par le fait que le secteur de transport ferroviaire et vue ses caractéristiques technico-économiques (industrie hautement capitalistique et en réseau) présente les conditions économiques d'un monopole ou oligopole naturel dont son fonctionnement doit être concentré entre les mains d'un nombre réduit de grandes entreprises. Ce qui explique le plus grand niveau d'efficacité des grandes firmes par rapport à celle de plus petite taille. A titre d'exemple, la compagnie espagnole RENFE dote d'un réseau de lignes de longueur de plus de 15 milles Km et équipé par 17 milles véhicules roulants se trouve sur la frontière d'efficacité alors celle FEVE n'a comme score d'efficacité que de 0.5 seulement. Elle dispose d'un réseau de longueur 216 Km et utilise seulement 321 unités roulantes.

Nous pouvons déduire donc, que le haut niveau de performance des compagnies européennes des chemins de fer par rapport aux autres peut être expliqué par les conséquences des réformes institutionnelles adoptées depuis des années imposées par leurs gouvernements et la

Commission européenne. Ces pays admettent des régimes de gouvernance du secteur de transport ferroviaire plus flexibles et autonomes et adoptent diverses réformes institutionnelles et structurelles au fonctionnement de leur secteur en vue d'améliorer la productivité et la performance dans la gestion et l'organisation des entreprises ferroviaires.

Les systèmes de transport ferroviaire des PED et en particulier la Tunisie, sont encore caractérisés par une forte réglementation et une structure intégrée de marché de type monopole naturel. Il existe seulement deux pays (Maroc et Algérie) qui ont commencé à appliquer les réformes de la déréglementation en adoptant seule la réforme de séparation verticale. A elle seule cette réforme comme on l'a montré n'apporte pas une contribution significative à l'amélioration de l'efficacité. Elle s'avère ainsi insuffisante pour renforcer la performance de ce secteur. Cette action doit être combinée avec une ouverture de ce secteur aussi bien à une concurrence directe qu'à l'initiative privée.

Les variables de contrôle telles que la superficie, la population et la densité de l'infrastructure ferroviaire affectent positivement le score d'efficacité. En effet, tout accroissement d'une unité de superficie, de population et de densité, implique une augmentation du score d'efficacité respectivement de 3.79%, 0.0035% et 35.82%. Ces résultats confirment ceux dégagés par plusieurs études (Lobo et Couto, 2015 ; Graham, 2008 ; Kleinová, 2016 ; etc.) et se trouvent cohérents avec la réalité du secteur. En effet, le transport ferroviaire s'adapte mieux aux grands pays qu'aux petit pays en termes de superficie. Généralement, ce mode de transport est plus avantageux et moins coûteux pour les longs trajets que les courts trajets. Son avantage comparatif par rapport aux modes routier est à la fois sa massification et sa capacité à transporter les marchandises et/ou les personnes à plus grande distance au moindre coût.

Malgré que le coefficient relatif à la variable population soit faible et statistiquement non significatif, sa valeur positive implique que la population est une variable déterminante de la demande de transport, mais sa répartition entre les divers modes disponibles varie en fonction des caractéristiques socioéconomiques des usagers de transport et des caractéristiques technico-économiques des modes à envisager. Tant que la part de trafic ferroviaire dans le trafic local des pays aussi bien pour le transport des voyageurs que celui de marchandises n'a pas cessé de baisser depuis longtemps, l'impact de l'accroissement de la demande potentielle (population) n'affecte pas d'une manière importante et significative le trafic ferroviaire car il s'avère incapable de capter une part de cette demande et à attirer plus de clientèle.

La densité du réseau définie par le rapport entre la longueur du réseau ferré et la superficie d'un pays, contribue positivement à l'efficacité des compagnies. L'accroissement de cette densité implique nécessairement un étalement de la couverture géographique du réseau, une meilleure accessibilité à ce mode et une disponibilité de l'offre. Tous ces facteurs sont sources d'externalités positives de réseaux qui augmentent le score d'efficacité des firmes ferroviaires (Mbangala et Perelman, 1997).

Cependant, le coefficient associé à la variable PIB contredit certaines études (Kleinová, 2016 ; Cantos et al, 2012 ; etc.) qui présumant que le PIB est un facteur stimulant de la demande de transport ferroviaire et qu'il exerce un effet positif sur son efficacité.

Selon nos résultats, plus que le PIB par habitant croît plus le score d'efficacité technique diminue. Ce résultat rejoint les conclusions de De Grange et al, (2012). Ce signe négatif peut être expliqué par au moins deux facteurs : d'une part, les changements de la structure industrielle en faveur de l'industrie légère qui exige un transport rapide, accessible, à haute fréquence et à faible taille. La baisse de la part de transport ferroviaire particulièrement pour

le transport de marchandise a été expliquée par ces changements qui accordent plus d'avantages aux modes routiers qu'à celui ferré (Sauvant, 2003). D'autre part, le mode ferré est conçu comme un bien inférieur dans le sens que l'accroissement du niveau de vie (PIB/habitant) d'un citoyen l'incite à substituer le mode voiture au mode train grâce à la meilleure qualité du transport individuel par rapport au transport collectif (Quinet, 1998)

Donc nous pouvons associer plusieurs sources à l'inefficacité au secteur de transport ferroviaire tunisiens qui sont relatives aussi bien à la mauvaise allocation des inputs, à une mauvaise gouvernance du secteur et à des facteurs exogènes relatifs particulièrement à la taille du pays évaluée que ce soit par sa population que par sa superficie. Ces deux facteurs peuvent constituer des limites à l'accroissement de la taille de ce secteur pour pouvoir bénéficier des économies de réseau et de produire les services au moindre coût. Ils réduisent la compétitivité de ce mode de transport par rapport aux modes routiers. Donc, la concurrence intermodale s'avère plus rude que celle intra-modale. A elle seule elle peut discipliner le comportement des firmes ferroviaires et les inciter à augmenter leur productivité et leur efficacité mais à conditions que ces compagnies soit contestables et non protégées et subventionnées par les Etats.

Conclusion :

L'objectif de cet article est d'évaluer l'impact de diverses réformes institutionnelles appliquées au secteur de transport ferroviaire, sur l'efficacité technique des entreprises concernées. La plupart des organismes ainsi que plusieurs études ont confirmé les effets positifs de ces réformes sur l'amélioration de l'efficacité du secteur ferroviaire. Ces réformes permettent d'améliorer la gouvernance de ces entreprises et de corriger les défaillances de la réglementation du secteur qui a caractérisée ses mécanismes de fonctionnement depuis longtemps.

Dans cet article nous allons essayer d'évaluer la pertinence de ces déclarations. Pour ce faire, nous avons opté pour une approche non paramétrique fondée sur une modélisation DEA à deux étapes. Dans la première étape, nous avons utilisé le modèle DEA classique dans sa version VRS pour une orientation input, pour dégager le score d'efficacité de chaque entreprise tout au long de la période d'étude. Ce modèle a été appliquée sur un échantillon de 72 DMU's composé de données de panel portant sur 18 compagnies appartenant à 11 pays ayant des structures de gouvernances et des modalités de réformes différentes, sur une période de 4 ans qui s'étale de 2014 à 2017.

Après avoir comparé les entreprises de notre échantillon en termes de scores d'efficacité et de proposer les ajustements nécessaires dans l'allocation des ressources pour que la SNCFT (Tunisie) puisse atteindre sa frontière d'efficacité, nous avons procédé à la seconde étape qui consiste à estimer ces scores d'efficacité en fonction d'un certain nombre de variables d'intérêt et de contrôle reflétant respectivement le type des réformes institutionnelles entamées et l'environnement économique, géographique et démographique où règnent ces entreprises.

En fait, l'entreprise n'est pas une entité autonome dont son efficacité est tributaire seulement aux mécanismes techniques de sa production. Elle appartient à un environnement politico-économique qui influence ses décisions et contribue d'une manière ou d'une autre à la détermination de son efficacité. C'est vrai que cet environnement s'avère comme une variable exogène pour l'entreprise qui se trouve en dehors de son champ d'action, mais elle doit le prendre en considération et l'analyser pour saisir ses opportunités et éviter ses menaces.

Une diversité des variables explicatives a été intégrée pour expliquer l'impact de la déréglementation du secteur ferroviaire sur l'efficacité des entreprises de transport ferroviaires telles que : séparation verticale, séparation horizontale, gouvernance, nombre des concurrents, superficie, population, PIB par habitant et densité de l'infrastructure. Les quatre premières variables reflètent l'environnement institutionnel ou règne la compagnie et la nature des réformes déréglementaires envisagées. Les autres variables ont été intégrées pour tester l'effet des facteurs influant l'offre et la demande de transport sur l'efficacité des entreprises.

Les résultats du premier modèle ont montré une hétérogénéité dans les scores d'efficacité entre les compagnies. Il existe des compagnies techniquement efficaces et qui disposent d'une meilleure qualité d'organisation qui leur permet de mieux transformer leurs inputs en un maximum d'output. Alors que d'autres ont marqué de grands niveaux d'inefficacité. Nous avons aussi constaté que les pays ayant le plus grand niveau de libéralisation du secteur ferroviaire enregistrent le niveau d'efficacité le plus important. C'est le cas par exemple de l'Allemagne, de l'Italie et de l'Espagne qui marquent le score d'efficacité le plus élevé par rapport aux autres. Ces résultats confirment ceux dégagés par plusieurs études (Kleinová 2016).

Si nous nous focalisons sur la Tunisie, selon les résultats obtenus, la SNCFT a marqué des scores d'efficacité faibles, voire médiocres tout au long de la période d'étude. Cette société qui occupe encore une position de monopole public intégré souffre de plusieurs lacunes qui entravent sa performance. L'absence d'autonomie de décision, la bureaucratie, la pléthore des effectifs ainsi qu'un mauvais entretien des infrastructures et du matériel roulant, et sans nier l'impact de la crise économique et les bouleversements politiques sur la compagnie ferroviaire, ont causé la perte de compétitivité, de rentabilité et d'efficacité de cette entreprise.

Nos résultats suggèrent que la SNCFT doit réduire de plus de 70% aussi bien son effectif que son réseau que son capital pour pouvoir atteindre la frontière d'efficacité.

Les résultats du second modèle ont montré que les variables institutionnelles ont un impact significatif et positif sur l'efficacité de l'entreprise. Ils suggèrent que la libéralisation du secteur de transport ferroviaire améliore l'efficacité. Cette efficacité sera autant plus importante que cette libéralisation porte sur la privatisation et la séparation horizontale.

Notre estimation suggère que les pratiques déréglementaires telle que soit leur nature affecte positivement l'efficacité des entreprises de transport ferroviaire. Mais leur ampleur varie en fonction de l'action appliquée. En fait, la séparation verticale et l'accroissement du nombre des firmes installées sur le marché ne conduisent pas forcément à des meilleurs scores d'efficacité. Le secteur de transport ferroviaire peut être géré par une ou un nombre réduit de compagnies de grande taille pour pouvoir bénéficier des économies d'échelle, de densité, d'envergure et de réseaux contribuant nécessairement à l'amélioration de son efficacité et la réduction de son coût de production.

Cette concentration de ce secteur n'implique aucun risque d'abus de pouvoir, car il est déjà soumis à une forme de concurrence intermodale qui semble être plus rude et disciplinaire que la concurrence directe. Cette concurrence indirecte joue le même rôle que celle directe pour inciter ces compagnies à améliorer leur efficacité mais à condition qu'elles soient autonomes et rationnelles dans leurs décisions d'allocation des ressources, d'organisation de la logistiques de trafic.

De l'autre côté, la séparation horizontale et la modalité de gouvernance privative exercent un effet considérable sur la performance des entreprises de transport ferroviaire. Cependant, les opérateurs privés présentent une réticence dans l'exploitation des infrastructures ferrées car

elles disposent des caractéristiques d'incontestabilité du marché (actif spécifique à coût fixe élevé et irrécupérable, équipements collectifs, durables, indivisibles, etc.). Pour cette raison que ces infrastructures doivent être gérées et contrôlées par l'Etat. Alors que les services d'exploitation de train se prêtent à une configuration de marché libéralisé et sont plus attractifs pour les privés. D'où la nécessité d'une séparation entre les deux segments de l'exploitation de l'activité de transport ferroviaire. Cette segmentation s'avère ainsi non un but en elle-même, mais un moyen incitatif à l'attractivité des opérateurs privés.

La participation du secteur privé dans l'exploitation et la gestion des trains, a dégagé des résultats positifs au niveau des performances des entreprises ferroviaires. Cette stratégie de privatisation des entreprises publiques se présente souvent comme un moyen privilégié susceptible de résorber les effets pervers et improductifs de la gestion publique et de dynamiser le secteur, dans le but d'obtenir un accroissement de l'efficacité grâce à une meilleure allocation des ressources. Elle se justifie par l'efficacité productive supérieure supposée des entreprises privées par rapport à celles publiques.

Plusieurs études (Gathon et Pastieau, 1996 ; Boardman et Vining, 1989 ; etc.) ont montré qu'une entreprise privée est plus incitée à améliorer sa productivité si elle règne dans un environnement concurrentiel que ce soit réel ou potentiel. En effet, pour diverses raisons politiques et sociales, les entreprises publiques ont plus de difficultés que celles du secteur privé à s'adapter souplement à un environnement ouvert, compétitif et en mutation continue. En outre, la concurrence ne peut avoir lieu et fonctionner de la manière la plus efficace qu'aux conditions de liberté de choix et d'autonomie de décision, absentes dans le régime de propriété publique.

En conclusion, l'étude confirme la nécessité d'instaurer des réformes de libéralisation du secteur de transport ferroviaire des pays qui n'ont pas encore procédé à ce processus correctif tels que la Tunisie, l'Algérie, le Maroc, etc. Cette stratégie est une bonne décision qui peut dans certaines mesures améliorer la performance de leur compagnies de transport ferroviaire en leur confiant plus d'autonomie de décision et de liberté d'action qui vont leur permettre de prendre les meilleures décisions selon le principe de la rationalité économique et l'efficacité technique et non des principes sociopolitiques.

Cependant, cette libéralisation du secteur de transport ferroviaire ne peut pas à elle- seule corriger toutes les défaillances techniques et organisationnelles de ce secteur. Le déclin de trafic ferroviaire et la réduction de ses parts de marché aussi bien pour le transport des passagers que des marchandises sont constatés partout dans le monde, même dans les pays entamant déjà ce processus déréglementaire. Cette baisse est expliquée par d'autres facteurs exogènes relatifs aussi bien à l'augmentation du niveau de vie des citoyens, aux changements de la structures industrielles et à la nouvelle organisation logistique basée sur le juste à temps et zéro stock exigeant une meilleure flexibilité et fluidité de trafic de porte à porte, une plus grande accessibilité et disponibilité. Ce secteur doit s'adapter avec les diverses mutations logistiques qui marquent l'évolution récente du marché de transport en implantant des zones logistiques et des configurations de réseau de type hub and stocks tout en offrant des services intégrés de porte à porte.

Donc, cette étude a essayé de contribuer à élargir le courant de recherche sur la performance des entreprises de transport ferroviaire et à enrichir la littérature sur le sujet. Ses résultats empiriques peuvent contribuer à orienter la décision des autorités concernées, en matière de réformes et des ajustements nécessaires pour améliorer l'efficacité de ce secteur ferroviaire. Ils fournissent des renseignements et des connaissances sur les principaux facteurs affectant

l'efficacité de ce secteur. Ils ouvrent également de nombreuses questions fécondes pour une future recherche économique.

Cependant, il faut noter que ces résultats de la mesure de l'efficacité et des impacts des réformes institutionnelles, sont très sensibles à l'évaluation de l'output de transport ferroviaire et des variables inputs et celles non discrétionnaires prises en considération, ainsi qu'au choix de l'échantillon.

Références Bibliographiques :

- Amemiya, T., (1985).** “*Advanced Econometrics*”. Harvard University Press, p. 521
- Atkinson S. and Cornwell C. (1994),** “Parametric Estimation of Technical and Allocative Inefficiency with Panel Data”, *International Economic Review*, vol. 35 (1), p. 231-243
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984),** “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis”. *Management Science*. Vol. 30. (9). P. 1078-1092.
- Boardman A. N. and Vining A. R. [(1989),** “Ownership and performance in competitive environments: a comparison of the performance of private, mixed and state-owned enterprises”, *Journal of Law and Economics*, vol 32, p. 1-33
- Bradshaw B. (2001),** “Lessons from a Railway Privatisation Experiment”, *Japan Railway & Transport Review*, No 29, p. 4-11.
- Campos, J., Cantos, P. (2000).** “*Railways regulation*”. In: Estache, A., de Rus, G. (Eds.), *Privatization and Regulation of Transport Infrastructure: Guidelines for Policy-makers and Regulators*. The World Bank Institute, Washington DC, p. 171–234.
- Cantos P., Pastor J. M. and Serrano L. (2000),** “Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways” *Journal of transportation and statistics*, December
- Cantos P., Pastor M. J. and Serrano L.(2012)** “Evaluating European railway deregulation using different approaches” *Transport Policy* vol 24, p. 67–72
- Charnes, A., Cooper W. W., Lewin A. Y., and Seiford L. M. (1995).** “*Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*”. Boston.
- Charnes A., Cooper W.W. and Rhodes E. (1978),** “Measuring the efficiency of decision making units”. *European Journal of Operational Research*. Vol 2. (6), p. 429 – 444.
- Coelli, T. (1996),** “*A Guide to DEAP Version 2. 1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program*”, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, Department of Econometrics, University of New England, Armidale, NSW 2351, Australia
- Coelli T., Prasada Rao D., and Battese G. (1998),** “*An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*” Kluwer Academic Publishers
- Coelli T., and Perelman S. (2000),** “Efficiency Measurement, Multiple-Output Technologies and Distance Functions: With Application to European Railway”, *Applied Economics*, no. 32.
- Costa A and Markellos R. N. (1997).** “Evaluating Public Transport Efficiency with Neural Network Models” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* vol 5 (5), p.301-312.
- Cowie, J., (1999),** “The Technical Efficiency of Public and Private Ownership in the Rail Industry: The Case of Swiss Private Railways”, *Journal of Transport Economics and Policy*. Vol. 33, (3), p. 241-251.
- De Grange L, Troncoso R, González F (2012),** “An empirical evaluation of the impact of three urban transportation policies on transit use”. *Transportation Policy* ,vol 22, p. 11–19.

- Deprins D. (1986)**, “Modelling technical inefficiencies with log-linear regression for one-sided residuals” CORE Discussion paper 8617. Université Catholique de Louvain, Belgium.
- Devillex, Verduyn F. (2012)**, *Implementation of EU legislation on rail liberalisation in Belgium, France, Germany and The Netherlands*, National Bank of Belgium. Working Paper Series, No 221.
- Driessen, G., Lijesen, M., Mulder, M., (2006)**, “The Impact of Competition on Productive Efficiency in European Railways”. CPB Discussion Paper No. 71. ISBN 90- 5833-293-4.
- Duranton, S., Audier, A., Hazan, J., (2012)**. “The 2012 European Railway Performance Index. Understanding what Drives High Performance”. Boston Consulting Group.
- Encaoua D. (1996)** “Ouverture à la concurrence des activités en réseau : le cas du transport aérien européen” *Revue Economique* n°6.
- Farrell, M.J., (1957)**, “The measurement of Productivity Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society*, n°120, p. 253-281.
- Farsi, M., Fillipini, M. and Greene, W. (2005)**, “Efficiency Measurement in Network Industries: Application to the Swiss Railway Companies”, *Journal of Regulatory Economics* vol 28 (1), p. 69–90.
- Friebel, G., Ivaldi, M., Vibes, C., (2010)**. “Railway (De)Regulation: a European efficiency comparison”. *Economica*, vol 77 (305), p. 77-91.
- Gathon, H. J. and Pestieau, (1995)**, “Decomposing efficiency into its managerial and its regulatory components: The case of European railways”, *European Journal of Operational Research*, vol 80, (3), p. 500-507.
- Gathon H. J and Pestieau P. (1996)**, “La performance des entreprises publiques : une question de propriété ou de concurrence”, *Revue Economique* n°6.
- Graham D. J. (2008)**, “Productivity and efficiency in urban railways: Parametric and non-parametric estimates”, *Transportation Research . E*, vol 44(1), p.84–99
- Kleinová E. (2016)** “Does liberalization of the railway industry lead to higher technical effectiveness?” *Journal of Rail Transport Planning & Management*, vol 6 (1), p.67-76.
- Kutlar, A., Kabasakal, A., Sarikaya, M., (2012)**. “Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis”, *Quality and Quantity*. Vol 47, p.3575-3602
- Laurent B., et Michel R. (1993)**., “La réglementation des réseaux en Europe - Une doctrine à la recherche de ses fondements économiques”. *Revue d'économie industrielle*, vol. 63, Politique de la concurrence. p. 261-271.
- Lobo A. and Couto A. ,(2015)**, “Technical Efficiency of European Metro Systems: The Effects of Operational Management and Socioeconomic Environment”, *Networks and Spatial Economics*, Vol 16, (3), p. 723–74.
- Mbangala M, Perelman S (1997)**, “L'efficacité technique des chemins de fer en Afrique Subsaharienne: une comparaison internationale par la méthode DEA”, *Revue d'économie du développement*, n°3, p. 91-115.
- Merkert, R., Nash, Ch, Smith, A., (2010)**. “Benchmarking of train operating firms - a transaction cost efficiency analysis”. *Transportation Planning and Technology*. vol 33, n°1, p.35-53
- Mulder, M., Lijesen, M. and Driessen, G. (2005)**, “Vertical separation and competition in the Dutch rail industry: A cost-benefit analysis”, paper submitted to the Third Conference on Railroad Industry Structure, Competition, and Investments, Stockholm,
- Nash, C.A. and Preston, J.M. (1993)** “Competition in Rail Transport: A New Opportunity for Railways?” Working Paper. Institute of Transport Studies, University of Leeds , UK.
- Oum, T. H. and Yu, C (1994)**, “Economic efficiency of railways and implications for public policy: A comparative study of the OECD countries railways”, *Journal of Transport*

Economics and Policy vol 28(2), p. 121–138.

Quinet E. (1998) “*Principes d’économie des transports*” Économica , Paris, P.377.

Sauvant A. (2003) “Les déterminants des évolutions à court terme des trafics et transports ferroviaires, fluviaux et aériens” *Notes de synthèse du Service économique et statistique* (N° 148, 2003, juil.-août)

Tobin J. (1958) . “Estimation of relationship for limited dependent variables”. *Econometrica*, vol 26(1), p. 24–36.

Urdánóz M. and Vibes C. (2013) “Regulation and cost efficiency in the European railways industry” *Journal of Productivity Analysis*, vol 39 (3), p. 217-230

Wetzel, H. (2008). “*European Railway Deregulation: The Influence of Regulatory and Environmental Conditions on Efficiency*,” Working Paper Series in Economics 86, University of Lüneburg, Institute of Economics.