

LOGISTIQUE ET TRANSPORT DES VRACS

Sous la direction de Yann Alix et Romuald Lacoste



Partie I

Les échanges de vracs secs et liquides

Chapitre 1

Transport maritime de charbon et de minerai de fer et efficacité portuaire

Pierre Cariou

Professeur, KEDGE Business School
Marseille - France

Gabriel Figueiredo de Oliveira

Maître de Conférences, LEAD
Faculté de Sciences Economiques et de Gestion
Université de Toulon
Toulon - France

Biographies

Pierre Cariou est Professeur spécialisé en Economie Maritime et Portuaire à KEDGE Business School à Marseille (France) depuis 2010. Il est également Professeur invité à la Shanghai Maritime University et à la World Maritime University (WMU) à Malmö (Suède). Au préalable, il était en charge de la chaire française en Affaires Maritimes à la WMU et Professeur en charge des formations management des Transports et des Ports (2004-2010). De 2001 à 2004, il était Maître de conférences à la faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Nantes (France). Sa thèse sur les alliances stratégiques dans le transport maritime fut soutenue en 2000 et il a depuis publié plus de 50 articles scientifiques et écrit de nombreux rapports pour des groupes publics ou privés (Natixis Bank, Casino Group, CMA CGM, le Parlement Français - Commissariat General du Plan, les Ports de Nantes, Marseille, Port La Nouvelle...). Ses principaux domaines de recherche sont l'économie maritime et portuaire, la sécurité maritime et la protection de l'environnement marin.

Maître de conférences à l'université de Toulon, **Gabriel Figueiredo de Oliveira** est membre du LEAD (Laboratoire d'Économie Appliqué au Développement). Sa thèse a été soutenue à l'université de Nantes en 2011. Ses recherches se situent à l'intersection de deux champs distincts de l'analyse économique : l'économie internationale et l'économie maritime.

Introduction

Les vracs secs représentaient 17% des chargements mondiaux en 1970 et de l'ordre de 30% en 2010 (CNUCED, 2012). Au sein de ces derniers, le charbon et le minerai de fer comptent chacun pour près de 40% et évoluent de façon sensiblement similaire avec 5% de croissance annuelle moyenne de 1984 à 2010. Cette croissance a connu un arrêt majeur depuis 2008, à l'instar de nombreux marchés maritimes. Ce ralentissement provient de la baisse de la demande dans un contexte de forte croissance de l'offre de transport maritime. Si ce phénomène est largement connu, et conduit à une forte volatilité du marché, un élément qui a fait l'objet de moins d'études et qui participe à cette volatilité est l'efficacité portuaire. Ce chapitre se focalise sur cet élément et propose une analyse de l'efficacité portuaire des terminaux charbonniers et minéraliers, intégrant notamment une mesure de la congestion portuaire. Plus spécifiquement, ce chapitre répond à la question de savoir si le classement des ports en termes d'efficacité diffère selon que l'on se place du point de vue de l'opérateur portuaire ou de celui des usagers. Pour ce faire, l'estimation de l'efficacité portuaire se fonde sur les modèles de *Free Disposal Hull* (FDH) et de frontières partielles (frontière d'ordre- α) sachant que l'efficacité portuaire est approchée à la fois d'un point de vue quantitatif (le volume exporté) et qualitatif (délai moyen d'accostage).

Ce chapitre commence par une présentation générale du marché et de l'importance de la congestion portuaire dans la compréhension de la dynamique des marchés (Section I). Par la suite, une revue de la littérature sur l'efficacité portuaire (Section II) ainsi que de la méthode qui sera appliquée sont présentées (Section III). La Section IV analyse les caractéristiques des 31 ports charbonniers et minéraliers considérés. La Section V discute les résultats de l'estimation alors que la Section VI conclut.

Le chapitre conduit aux conclusions suivantes: (i) deux-tiers des ports sont efficaces en termes de volume ; (ii) les ports dédiés au chargement de minerai de fer sont généralement moins efficaces que les ports charbonniers ; (iii) le score moyen d'efficacité est deux fois plus petit lorsque l'*output* retenu est le temps d'accostage plutôt que le volume manutentionné ; (iv) les ports considérés comme efficaces selon les deux critères susmentionnés sont de taille relativement modeste ; enfin (v) les ports de Headland, d'Hay Point et de Richard's Bay ont les scores les plus élevés parmi les ports efficaces.

Les caractéristiques du marché et l'impact de l'efficience portuaire

Le transport maritime de minerai de fer et de charbon est un marché dérivé, dont la dynamique de long terme est à rechercher dans la demande d'importation de ces deux produits ainsi que dans la dynamique propre du secteur maritime et portuaire, effet offre. Du point de la demande, les échanges maritimes de charbon et minerai de fer sont extrêmement concentrés (Tableau 1). Pour le minerai de fer, l'Australie et le Brésil représentent 71% de l'origine des flux alors que la Chine et le Japon concentrent 75% des importations. Pour le charbon, l'Australie et l'Indonésie concentrent 65% des exportations alors que le Japon, l'Europe et la Chine à elles seules absorbent 53% de ces flux. En outre, ce phénomène de concentration des flux s'est renforcé lors des 10 dernières années, du fait de la croissance des importations chinoises (Figure 1).

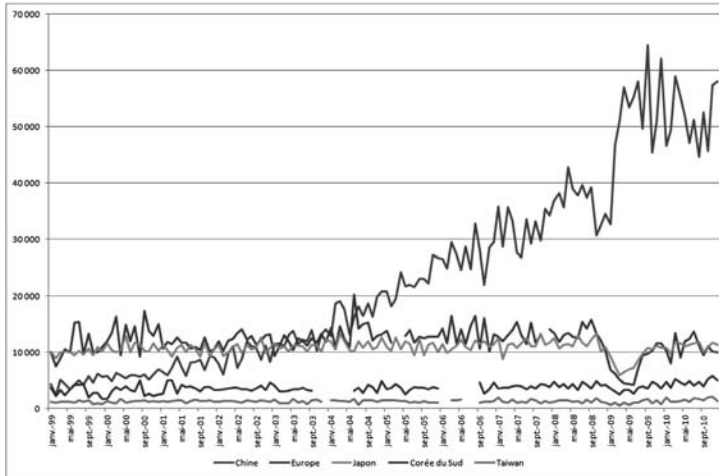
Tableau 1 : Echanges de minerai de fer et de charbon en 2010 (parts de marché)

Pays exportateurs	Part de marché	Part de marché cumulée	Pays importateur	Part de marché	Part de marché cumulée
Minerai de fer					
Australie	40	40	Chine	61	61
Brésil	31	71	Japon	14	75
Inde	10	81	EU15	11	86
Afrique du Sud	5	86	Corée du Sud	6	92
Autres	14	100	Autres	8	100
Charbon					
Australie	33	33	Japon	22	22
Indonésie	32	65	Europe	17	39
Colombie	8	73	Chine	14	53
Afrique du Sud	7	80	Inde	13	66
Autres	20	100	Autres	37	103

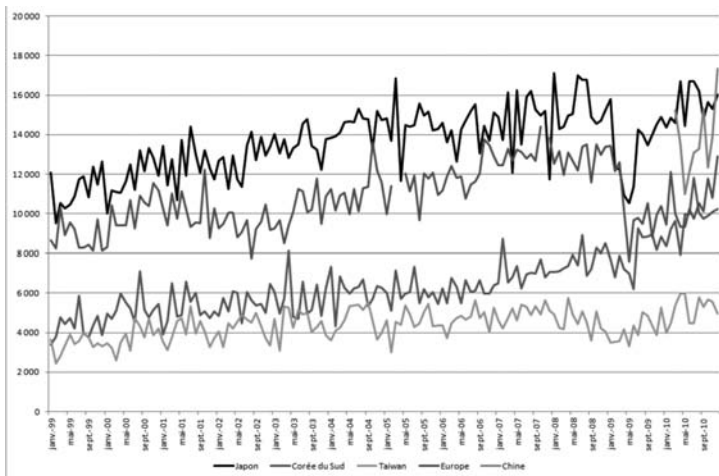
Source : *Compilation Cariou et Figueiredo (2013) basée sur CNUCED (2011)*

Figure 1 : Importations mensuelles de minerai de fer et charbon en milliers de tonnes (1999-2010)

1.A. Minerai de fer



1.B*. Charbon



*Données disponibles pour importations Chinoises de Charbon uniquement depuis 2010
Source : Compilation Cariou et Figueiredo (2013) basée sur Drewry Monthly Statistics (2000-2012)

Cette concentration des flux se retrouve par exemple sur le segment spécifique des Capesize, correspondant aux vraquiers secs d'une capacité de transport supérieure à 100 000 tonnes de port en lourd. Du fait de leur taille, ces navires ne peuvent être reçus que dans un nombre limité de ports et ne peuvent transiter via le Canal de Panama. En 2012, à titre d'illustration, trois routes maritimes

concentrent 69% de l'activité de ces navires, et ont comme caractéristique commune d'avoir comme destination finale l'Asie (Tableau 2).

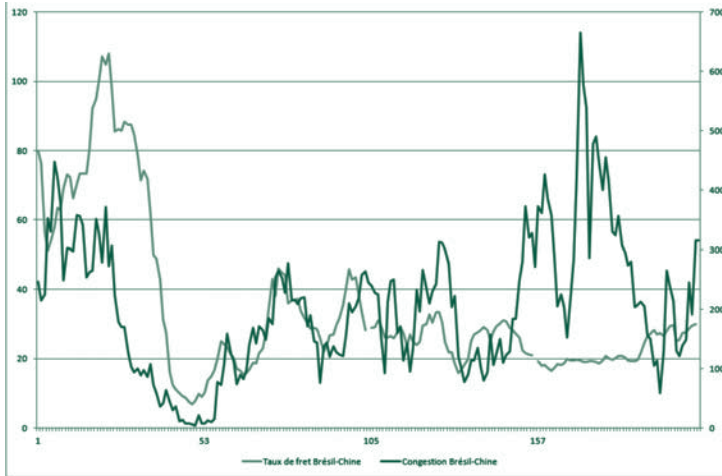
Tableau 3 : Déploiement des navires dit « Capesize » en tonne-miles en 2012

	Part de Marché	Part de Marché Cumulée
Amérique du Sud vers Asie	33%	33%
Australie & Océanie vers Asie	23%	56%
Asie vers Asie (courte et longue distance)	13%	69%
Afrique vers Asie	8%	77%
Amérique du Nord vers Asie	6%	83%
Amérique du Sud vers Europe	6%	89%
Europe vers Asie	5%	94%
Afrique vers Europe	3%	97%
Amérique du Nord vers Europe	3%	100%

Source : *Compilation Cariou et Figueiredo (2013) basée sur Shipping Market Outlook 2012 (Danmarks Skibskredit report)*

Ainsi, malgré l'ampleur des quantités transportées, le transport maritime de charbon et de minerai de fer peut être appréhendé comme un marché de niche, pour lequel le moindre ralentissement de la demande, qu'il s'agisse de raisons politiques, économiques ou climatiques à des répercussions immédiates sur les taux de fret et donc sur le profit des armateurs. Le niveau d'efficacité et de congestion portuaire jouent une part importante dans cette volatilité, bien que souvent négligé. En gardant l'exemple du sous-segment des Capesize, le tableau 2 illustre ce phénomène, proposant une comparaison pour la route Brésil-Chine, entre l'évolution de la congestion portuaire hebdomadaire moyenne des Capesize et du taux de fret (route C3 du Baltic Capesize Index). L'indice de congestion construit est la moyenne du nombre par le temps moyen des navires en attente pour ces deux zones. A titre d'illustration, la valeur de 256 de congestion en 1 (soit la première semaine de 2008), correspond à 42 navires Capesize en attente au Brésil pour une moyenne en attente de 4,64 jours et de 22 Capesize en Chine en attente moyenne pendant 2,35 jours (Global Port Congestion Index, 2012). La figure 2 illustre ainsi une forte corrélation, du moins de 2008 à 2010, entre le niveau de la congestion résultante notamment de l'efficacité portuaire et le taux de fret sur le marché.

Figure 2 : Evolution hebdomadaire de la congestion moyenne (en jours x nombre de navires Capesize) et du taux de fret de minerai de fer en USD : l'exemple du marché Brésil-Chine de 2008 à 2010



Source : *Compilation Cariou et Figueiredo (2013) basée sur World Port Congestion Index et Clarkson Research (2012)*

Cette corrélation se confirme dans l'estimation de la régression du taux de fret Brésil-Chine (C3) en fonction du niveau de congestion¹ conduisant aux résultats suivants :

$$\text{Log(Taux de Fret)} = \underset{(t = 20,71)}{2,90} + \underset{(t = 3,80)}{0,091} \cdot \text{Log(Congestion)} \quad R^2 = 0,87$$

Ainsi, une croissance d'1 pour cent de la congestion portuaire moyenne hebdomadaire entre le Brésil et la Chine conduirait à une croissance de 0,091 pour cent du taux de fret, une relation statistiquement significative. Ce résultat confirme que la congestion et plus généralement l'efficacité portuaire joue un rôle significatif sur le prix du transport. La section suivante se propose une analyse plus approfondie de l'efficacité des ports minéraliers et charbonniers, un élément ayant fait l'objet d'études limitées.

¹ Les estimations OLS sont de type Prais-Winsten, permettant de corriger l'auto-corrélation des résidus pour des données temporelles. Les t-statistiques sont reportées entre parenthèses.

L'analyse de l'efficacité portuaire : une brève revue de la littérature

Comme la section introductive le souligne, la performance portuaire est un élément crucial expliquant les niveaux de taux de fret et ainsi les échanges (Clark et al 2004 ; Sanchez et al 2003 ; Sanchez et al 2006 ; Hoffmann and Wilmsmeier 2008). Ce phénomène qui se retrouve pour tous les marchés, conduit à s'étonner que la littérature portant sur l'analyse de l'efficacité portuaire s'est focalisée quasi-exclusivement sur les terminaux conteneurisés.

Dans ce cadre, la performance relative d'une entité, en l'occurrence un port ou un terminal, est mesurée via sa capacité à produire des *outputs* à partir des *inputs* dont il dispose. En retenant les facteurs de production les plus importants, il devient possible de représenter la frontière de production qui, elle-même, reflète le niveau de technologie du secteur étudié, à un moment donné. Dès lors, les unités de production ne se trouvant pas sur cette frontière seront considérées comme *inefficients*.

Les méthodes quantitatives servant à mesurer l'efficacité portuaire se basent essentiellement soit sur les modèles de frontières stochastiques (Liu 1995 ; Baños-Pino et al. 1999 ; Coto-Millan 2000 ; Notteboom et al. 2000 ; Estache et al., 2002 ; Cullinane et al., 2002 ; Cullinane and Song, 2003 ; Tongzon et Heng 2005 ; Cullinane et al. 2006) soit sur les modèles d'enveloppement des données ou modèles DEA (Roll and Hayuth, 1993 ; Martinez-Budria et al 1999 ; Tongzon 2001 ; Valentine and Gray, 2001 ; Barros and Athanassiou, 2004 ; Cullinane et al., 2004 ; Cullinane et al. 2005 ; Cullinane et al. 2006).

L'approche DEA retenue dans notre étude fut appliquée en premier au secteur portuaire par Roll et Hayuth (1993), toutefois, comme exploration théorique. Par la suite, Martinez-Budria et al. (1999) appliquèrent le modèle de *DEA- BCC* (rendements variables) pour quantifier l'efficacité relative de 26 ports espagnols. Tongzon (2001) pour sa part, a cherché à mesurer l'efficacité relative de 16 ports à conteneurs pour l'année 1996, en utilisant l'analyse de *DEA* sous sa forme *CCR* (rendements constants) et *additive*. Les résultats obtenus révèlent un problème de sur-spécification qui l'a conduit à identifier plus de ports efficaces qu'inefficaces². Valentine et Gray (2001) ont appliqué le modèle de *DEA-CCR* sur 31 ports à conteneurs parmi les 100 plus importants du monde, pour l'année 1998. L'objectif étant d'analyser le niveau d'efficacité relative selon le type de structure organisationnelle et de gestion appliquée.

Cullinane et al. (2005) ont estimé, pour l'année 1999, l'efficacité relative de 57 terminaux à conteneurs, en utilisant deux méthodes non paramétriques, à savoir

²À l'exception du modèle CRR appliqué sur un seul *output*.

l'analyse de *DEA* (sous la forme *CCR* et *BCC*) et *Free Disposal Hull* (*FDH*). Ces deux techniques les ont conduits à des résultats différents. Dans ces derniers, l'index d'efficacité obtenu à partir du *FDH* est supérieur ou égal à celui obtenu par les deux approches de *DEA*. Par ailleurs, ces auteurs ont préconisé l'utilisation des données en panel pour éviter le biais éventuel consistant en une estimation d'efficacité induite par un choc ponctuel.

Suivant ce même principe, les travaux de Cullinane et al. (2004) appliquèrent une version panel du modèle de *DEA* (*Window analysis*) sur 25 ports à conteneurs. Il en est ressorti que l'efficacité fluctue au cours du temps et que l'échelle d'efficacité n'était pas la principale source d'inefficacité. De ce fait, So, Kim et al. (2007) appliquèrent sur un échantillon de 19 ports à conteneurs, le modèle de *super-efficacité*, en plus des deux modèles traditionnellement utilisés (*CCR* et *BCC*) dans l'analyse de *DEA*. Leur méthode a permis d'identifier le port le plus performant parmi ceux disposant d'un index d'efficacité égal à l'unité.

Enfin Cullinane et al. (2006) ont eu l'idée d'appliquer sur le même échantillon, les deux principales approches pour quantifier l'efficacité portuaire, à savoir l'analyse de *DEA* et la frontière stochastique. Il en a résulté que l'estimation de l'efficacité technique obtenue à partir de ces deux approches, conduisait à des résultats relativement proches en termes de classement d'efficacité. En dernier lieu, notons que seule l'étude de Cariou et Figueiredo (2011) ont proposé l'application de la méthode *DEA* à des ports spécialisés dans le (dé)chargement de charbon et de minerai de fer, et non de conteneurs. L'analyse qui suit est un prolongement de leur analyse précédente, la section III en présentant les principes généraux.

Les frontières non paramétriques

Dans le cadre de cette étude, nous nous appuyons sur les techniques de frontières non paramétriques pour étudier l'efficacité des ports vraciers. L'Analyse d'Enveloppement des Données (*DEA*) est l'outil le plus courant de l'analyse de l'efficacité non paramétrique. So, Kim et al. (2007) ont défini l'approche du *DEA* comme étant une programmation linéaire, basée sur une méthode déterministe et non paramétrique, visant à évaluer l'efficacité relative d'une *unité décisionnelle* à transformer des *inputs* en *outputs*. Cet outil permet de déterminer empiriquement la frontière de production, sans avoir besoin au préalable de définir la forme de cette fonction.

De nombreuses études se sont fondées sur les méthodes du *DEA* pour évaluer l'efficacité portuaire. Cependant, dans le contexte de la mesure de l'efficacité portuaire, nous pouvons nous interroger sur la pertinence de la convexité, hypothèse inhérente au modèle du *DEA*. En d'autres termes, la possibilité de combinaisons linéaires des ports est-elle réaliste ?

La fonction de production portuaire se caractérise par la prédominance des coûts fixes, ce qui implique que lorsque le port est au maximum de sa capacité de production, la hausse de celle-ci ne peut s'opérer que par le franchissement d'un nouveau pallier des coûts fixes. En cela, il apparaît donc que la frontière de production portuaire prend plutôt une forme en escalier. Raison pour laquelle nous rejetons l'hypothèse de convexité et préférons nous baser sur le modèle FDH proposé par Deprins et al. (1984) qui suppose la libre-disposition sur l'ensemble de la frontière de production. En d'autres termes, en un point donné, il est toujours possible de produire la même quantité d'*outputs* avec plus d'*inputs*. Pour cette étude, nous retenons une «orientation en *output*», qui se focalise sur la production maximale d'*output* pour un niveau d'*input* donné.

Soit n le nombre de ports que l'on cherche à évaluer. Chaque port consomme un ensemble d'*inputs* $x \in R_+^p$ pour produire $x \in R_+^p$. L'ensemble des points susceptibles d'être réalisés Ψ pouvant être formulé comme suit :

$$\Psi = \{(x, y) \in R_+^{p+q} | x \text{ peut produire } y\}$$

La technologie de production disponible représente l'ensemble des *outputs* pouvant être produits pour un niveau d'*inputs* donné. Elle peut être déduite de la manière suivante :

$$P(x) = \{y \in R_+^q | (x, y) \in \Psi\}$$

Quant au niveau de production maximal, il détermine la frontière de production efficiente, qui se définit comme :

$$\partial P(x) = \{y | y \in P(x), \lambda_y \notin P(x) \forall \lambda > 1\}$$

Ainsi, le score d'efficacité estimée pour un point donné $(x_0, y_0) \in \Psi$ est donc :

$$\lambda(x_0, y_0) = \sup\{\lambda | \lambda y_0 \in P(x_0)\}$$

L'objectif de la mesure de l'efficacité relative est d'identifier deux catégories, selon que le score d'efficacité est égal ou inférieur à l'unité³. Il convient de noter que l'un des principaux points faibles de l'approche non paramétrique est d'être très sensible aux valeurs extrêmes et aux erreurs de mesure. Ces lacunes ont été revues dans les approches dites de frontières partielles, qu'elles soient d'ordre- m (Cazals et al. 2002) ou d'ordre- α (Aragon et al. 2005).

Ces approches sont plus robustes et ont pour particularité de ne pas envelopper toutes les observations, de sorte que la frontière n'est pas entièrement façonnée par quelques observations aberrantes. Des lors, la performance d'une DMU spécifique peut se révéler supérieure à celle du groupe de référence, et dans ce cas, son score d'efficacité sera supérieur à l'unité. Précisons que pour une revue plus complète de cette approche, il convient de se référer à Daraio et Simar (2007).

³Pour la version d'orientation en output, le score d'efficacité est obtenu par $1/\lambda$, puisque λ est compris entre 1 et plus l'infini.

Dans cette étude nous utilisons la frontière d'ordre- α . L'idée est ici de déterminer la frontière en fixant la probabilité $(1 - \alpha)$ de points d'observation au-dessus de cette frontière.

$$\lambda_{\alpha,n}(x,y) = \sup \left\{ \lambda \mid S_{(Y|X,n)}(\lambda y | x) > 1 - \alpha \right\}$$

Notons que l'ordre- α diffère de FDH, uniquement lorsque $\alpha < 1$. Dans ce cas, en effet, certaines DMUs sont classées comme super-efficaces et ne sont donc pas enveloppées par la frontière estimée des possibilités de production.

Description des variables

L'évaluation de l'efficacité portuaire sera réalisée sur un échantillon de 31 ports de chargement (exportations), parmi lesquels 17 sont dédiés au charbon et 14 au minerai de fer. Par ailleurs, on notera que la décision consistant à considérer l'*unité décisionnelle* (DMU) de cette analyse comme correspondante au port et non pas au terminal, est due à la difficulté rencontrée pour obtenir des données désagrégées. En conséquence de quoi, lorsqu'un port dispose de plusieurs terminaux utilisés pour charger ce type de marchandises (à l'instar de Dampier, Vancouver et autres), le niveau d'infrastructure sera construit à partir de l'agrégation⁴ des différents terminaux.

Pour construire le modèle, il nous faut déterminer les *inputs* et *outputs* les plus pertinents. Comme cela a été mentionné en introduction, l'évaluation de l'efficacité se focalisera à la fois sur le point de vue de l'opérateur portuaire et sur celui des usagers. Dans le premier cas, l'objectif consistera donc pour l'essentiel en des mesures quantitatives pour lesquelles l'*output* est représenté par le volume de marchandises chargées dans un port. Dans le second cas, il se référera plutôt à des critères liés à la qualité du service portuaire, dont l'aspect le plus important est le temps des opérations. Pour prendre en compte cet aspect qualitatif, nous utiliserons l'inverse du délai moyen d'accostage pour chaque port. Cette variable sera déduite à partir de l'indice de congestion portuaire (*Global Ports Congestion Index*⁵). Quant au processus de production des terminaux de charbon ou de minerai de fer, il implique que les *inputs* sélectionnés puissent capter les trois étapes de la production ; à savoir la réception du navire, le stockage et la liaison entre l'arrière-pays et le port, ainsi que l'activité de chargement à proprement parler.

⁴ Cette agrégation sera construite de la manière suivante : les variables concernant la longueur totale du quai et sa capacité de stockage seront déduites à partir de la somme des différents terminaux. Tandis que le taux de chargement sera obtenu à partir de la moyenne.

⁵ Cet indice élaboré par Global Port, est un bulletin d'*information hebdomadaire* sur les retards d'accostage dans les principaux ports charbonniers et minéraliers à travers le monde.

La première phase sera représentée par la longueur totale des quais qui donne une indication de la dimension du terminal et donc de la capacité des navires qu'il peut réceptionner. Pour la seconde phase, la liaison avec l'arrière-pays est une phase complexe à considérer, qui peut se décomposer en trois étapes, à savoir : la réception de la marchandise transportée par voie terrestre et son déchargement ; l'entrée de la marchandise en zone de stockage ; et enfin sa sortie. Pour rendre compte de ces trois étapes, il convient de connaître les caractéristiques des équipements nécessaires tels que les machines de mise en stock [*stackers*], les appareils de reprise [*reclaimers*] et leur débit respectif, ainsi que la capacité de stockage du terminal. Toutefois, seule cette dernière caractéristique sera introduite dans le modèle, du fait de la difficulté rencontrée dans la collecte d'informations portant sur ces types d'équipements.

Enfin, la troisième étape concerne l'activité de chargement qui vise à transférer la marchandise depuis les zones de stockage jusqu'au navire, par le biais de convoyeurs. Généralement il y a un chargeur par quai et la vitesse du chargement dépend principalement de la performance de l'équipement. Ainsi le taux moyen de chargement (exprimé en tonnes par heure) semble être le critère le plus adapté pour capter le niveau de technologie du port étudié.

Pour conclure cette partie, nous noterons que, sur l'année 2010 et pour les 31 ports situés dans 8 pays différents, les variables retenues sont : pour l'*output*, le débit annuel (en tonnes métriques) et l'inverse du délai moyen d'accostage (en nombres d'heures). Pour les *inputs*, la longueur totale du quai (en mètres), la capacité de stockage (en tonnes) et le taux de chargement (en tonnes métriques) par heure.

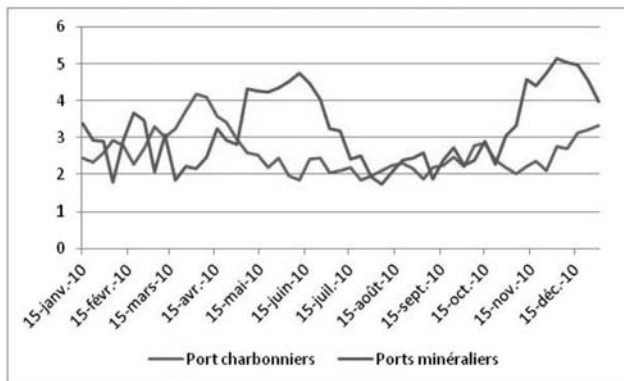
Les informations relatives aux *inputs*, ainsi qu'à la qualité du service portuaire (*output*) proviennent essentiellement des bases de données du *Global Port* et du *Lloyd's Ports of the World* (principalement pour la longueur des quais). Enfin, en ce qui concerne l'autre *output* relatif au volume annuel chargé dans les ports, les données ont été collectées auprès des sources statistiques des différentes autorités portuaires. La figure 5 présente des statistiques détaillées portant sur les 31 ports de chargement. En 2010, le volume moyen chargé était de 37 millions de tonnes pour les ports charbonniers et de 55 millions de tonnes pour les ports minéraliers. Le délai moyen d'accostage s'élève respectivement à 56h et 76h. Nous voyons que les ports minéraliers ont un taux moyen de chargement plus élevé que ceux des ports charbonniers (4622 tonnes par heure pour le minerai de fer contre 2425 pour le charbon) et de plus grande capacité de stockage (2,25 millions de tonnes métriques contre 1,6).

Tableau 3 : Statistiques descriptives de l'échantillon

Caractéristiques		Longueur totale des quais (mètres)	Capacité de Stockage (en millions de tonnes)	Taux moyen de chargement (par heure)	Tonnage annuel (en millions de tonnes)	Délai moyen D'accostage (en heures)
Charbon	Moyenne	725,2	1,79	3384	37,10	56,6
	Écart-type	485,9	1,84	1 331,8	28,80	89,4
	Minimum	150	0,13	833	6,30	2,4
	Maximum	1 638	6	5 988,8	99,50	333,6
	Observations	17	17	17	17	17
Minerai de fer	Moyenne	601,5	2,25	4622,7	55,10	75,9
	Écart-type	404,8	1,96	2922,8	53	58,5
	Minimum	143	0,40	833,3	8,49	2,4
	Maximum	1300	6,40	9923,6	174	156,5
	Observations	14	14	14	14	14

Source : *Compilation Cariou et Figueiredo (2013) basée sur Global Port, Lloyd's Ports of the World, ainsi que les statistiques des différentes autorités portuaires*

Enfin, la figure 6 illustre le délai moyen d'accostage hebdomadaire, et selon le type de marchandise exportée. Tout d'abord, nous constatons que sur l'année 2010, la congestion oscillait en moyenne entre 2 et 4 jours et qu'elle était plus importante pour les ports exportateurs de minerai de fer que pour ceux spécialisés dans le charbon. Cependant, ces moyennes relativement faibles cachent une importante hétérogénéité entre les ports. En effet, les trois pics de plus de 4 jours présents dans ce graphique s'expliquent par une forte congestion en un nombre limité de terminaux regroupant plus particulièrement les ports charbonniers australiens et les ports minéraliers brésiliens.

Figure 3 : Délai moyen d'accostage pour les ports vraquiers en nombre de jours (2010)

Source : *Compilation Cariou et Figueiredo (2013) basée sur World Port Congestion Index*

Analyse empirique

L'analyse de la performance relative des ports vraquiers sera effectuée pour trois modèles se distinguant selon le type d'*output* considéré. Dans le premier modèle, l'*output* est le volume de marchandises manutentionnées transitant dans le port. Dans le second, l'*output* correspond à l'inverse du délai moyen d'accostage. Enfin, dans le dernier modèle, les deux *outputs* sont pris en considération.

D'après les résultats obtenus (Figure 7), plusieurs constats peuvent être effectués. Dans le cadre du premier modèle, près des deux-tiers des ports sont efficients et la moyenne des scores obtenus par FDH s'élève à 0.88. Parmi les ports considérés comme inefficients, six sont dédiés au chargement de minerai de fer, contre quatre qui le sont au charbon. Cette différence entre ces deux types de ports se reflète également sur la moyenne des scores d'efficacité, puisqu'elle est de 0,83 pour les ports minéraliers et de 0,94 pour les ports charbonniers.

Pour le modèle 2 où l'efficacité se focalise sur le point de vue des usagers et pour qui le critère le plus important est le temps du service, il s'avère que les moyennes des indices obtenus sont deux fois plus petites que dans le premier modèle. Pour mieux appréhender les différences entre le modèle 1 et 2, les différents ports vont être regroupés en trois catégories ; pour la première catégorie, les DMUs sont efficients dans les deux modèles. La seconde catégorie regroupera les ports ayant un score inférieur à un, et ce, quelle que soit l'*output* choisi. Enfin, la troisième catégorie regroupera les DMUs s'avérant efficaces uniquement pour un seul modèle.

Tableau 4 : Estimations des scores d'efficacités

Pays	Port	Type	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
Australie	Abbot point	Charbon	0.922***	0.163	0.922***
Australie	Brisbane	Charbon	1.000	1.000	1.000
Australie	Gladstone	Charbon	1.000***	0.022	1.000***
Australie	Hay point	Charbon	1.000***	0.012	1.881***
Australie	Newcastle	Charbon	1.000***	0.007	1.000***
Australie	Port Kembla	Charbon	1.000***	0.050	1.000***
Canada	Prince Ruppert	Charbon	0.174	1.000**	1.000***
Canada	Vancouver	Charbon	1.000***	1.000**	1.000***
Colombie	Cienaga	Charbon	1.000***	1.000**	1.000***
Colombie	Puerto Bolivar	Charbon	1.000***	0.200	1.000***
Colombie	Santa Marta	Charbon	1.000	1.000	1.000
Indonésie	Kotabaru	Charbon	1.000***	1.000***	1.000***
Indonésie	Samarinda	Charbon	1.000***	0.020	1.000***
Indonésie	Tanjung Bara	Charbon	1.000***	0.200	1.000***
Afrique du Sud	Richard's Bay	Charbon	1.000***	0.100	1.527***

Pays	Port	Type	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
Etats-Unis	Baltimore	Charbon	0.350	1.000***	1.000***
Etats-Unis	Norfolk	Charbon	1.000***	1.000**	1.000***
Australie	Dampier	Minerai de fer	1.000***	0.035	1.000***
Australie	Esperance	Minerai de fer	1.000	1.000	1.000
Australie	Port Headland	Minerai de fer	1.000***	0.023	3.290***
Brésil	Guaiba Island	Minerai de fer	0.746**	0.017	0.916***
Brésil	Ponta da Madeira	Minerai de fer	0.681	0.023	1.000**
Brésil	Ponta do Ubu	Minerai de fer	0.453	0.079	1.000***
Brésil	Sepetiba	Minerai de fer	1.000	1.000	1.000
Brésil	Tubarao	Minerai de fer	0.755**	0.017	1.000***
Inde	Chenai	Minerai de fer	0.479	0.200	0.629*
Indie	Mormugao	Minerai de fer	1.000***	0.021	1.000***
Indie	New Mangalore	Minerai de fer	1.000	1.000	1.000
Indie	Paradip	Minerai de fer	1.000***	0.018	1.000***
Indie	Visakhapatnam	Minerai de fer	0.551	0.059	0.551
Afrique du Sud	Saldanha Bay	Minerai de fer	0.635	1.000***	1.000***
Observations			31	31	31
Score moyen d'efficience			0.863	0.428	1.088
Part des ports efficaces			67.7%	38.7%	77.4%

Notes : Erreur standard par la méthode du bootstrap (B=2000). *** représente la significativité à 1%, ** à 5% et * à 10%. Pour le modèle 3, la part des ports super-efficaces est de 9.7%.

Au sein de la première catégorie, il est possible d'identifier neuf ports, parmi lesquels seuls deux sont des exportateurs de minerai de fer. Ces ports se caractérisent par un volume de chargement relativement faible, puisque seuls les ports de Sepetiba, Norfolk et Vancouver ont un débit annuel supérieur à 30 millions de tonnes. À l'inverse, la majorité des DMUs considérées comme efficaces uniquement sur un seul modèle, sont plutôt de grande taille. Et comme précédemment, les ports charbonniers sont majoritaires dans cette catégorie. Enfin, sept ports ont un score inférieur à l'unité pour les deux modèles, parmi lesquels quatre sont des ports brésiliens spécialisés dans l'exportation de minerai de fer.

D'après les résultats du modèle avec deux *outputs* (modèle 3), il y a désormais six ports efficaces supplémentaires par rapport au modèle 1. En effet, en plus des trois ports ayant un score égal à l'unité dans le modèle 2 (à savoir Baltimore, Prince Ruppert et Saldanha Bay), le port Ponta do Ubu, Ponta da Madeira et Tubarao ont également été identifiés comme efficaces. Cependant, cette approche ne permet pas de réaliser un classement entre les DMUs situées sur la frontière, ce qui amène à appliquer la version de Super-efficience. Il en ressort que pour ce modèle à deux *outputs*, les scores les plus élevés parmi les ports efficaces sont respectivement ceux obtenus par le port de Port Headland, d'Hay Point et Richard's Bay.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était tout d'abord de souligner en quoi l'efficience et la congestion portuaire sont des données importantes à considérer pour les marchés du vrac sec, et notamment du charbon et du minerai de fer. Compte tenu de cet élément, le chapitre proposait une contribution originale visant à appliquer et à adapter les modèles de type DEA aux terminaux charbonniers et minéraliers alors que, généralement, ils sont utilisés pour comparer des terminaux à conteneurs. En outre, notre approche visait également à intégrer à la fois un critère quantitatif et qualitatif de l'efficience portuaire. Dans le cadre de cette analyse, nous avons noté des différences significatives dans le classement des ports, selon le critère retenu. Certains ports parviennent à atteindre l'efficience quel que soit le modèle utilisé. Les différences remarquées peuvent s'expliquer notamment par le fait que dans le cas de l'efficience calculée en termes de volume de production (modèle 1), un port est efficace lorsqu'il est au maximum de sa capacité de production, un élément pouvant être atteint et ce, au détriment de la qualité du service portuaire (modèle 2).

C'est dans cet esprit que d'autres études devraient être de notre point de vue menées afin d'accroître notre connaissance de l'impact des facteurs quantitatifs et qualitatifs sur la compétitivité des ports et notamment dans les domaines des vracs secs ou liquides.

Références bibliographiques

- Aragon, Y., Daouia, A., and Thomas-Agnan, C. (2005). Nonparametric Frontier Estimation: A Conditional Quantile-Based Approach. *Econometric Theory*, 21(02), 358–389.
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W.W., 1984, Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30 (9), 1078–92.
- Banos Pino., Coto Millan, P., J. and Rodrigues Alvarez, A., 1999, Economic Allocative Efficiency and Over-capitalization: an Application. *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 181-99.
- Banos Pino., Coto Millan, P., J. and Rodrigues Alvarez, A., 2000, Economic Efficiency in Spanish Ports: some Empirical Evidence. *Maritime Policy and Management* 27(2), 169–74.
- Barros, C.P. and Athanassiou, M., 2004, Efficiency in European seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal. *Maritime Economics & Logistics*, 6 (2), 122-40.
- Cariou, P. and Figueiredo De Oliveira G., 2011, A DEA study of the efficiency of 122 iron ore and coal ports and of 15/17 countries in 2005, *Maritime Policy and Management* 38(7), 727-743.
- Charnes, A, Cooper, W. And Rhodes, E, 1978, Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operations Research*, 2 (6), 429-44.
- Clark, X., Dollar, D., And Micco, A., 2004, Port efficiency, maritime transport costs, and bilateral trade. *Journal of Development Economics*, 75(2), 417-450.
- CNUCED, 2011, Review of Maritime Transport, United Nations, New York and Geneva.
- Cullinane, K. P. B. and Song, D. W., 2003, A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminal. *Applied Economics*, 35, 251–267.
- Cullinane, K. P. B., 2002, The Productivity and Efficiency of Ports and Terminals: Methods and Applications. In *The Handbook of Maritime Economics and Business*, edited by Costas T. H. Grammenos. (London: Informa Professional) Ch 35: pp. 803-831.
- Cullinane, K., Song, D.W. and Gray, R., 2002, A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia: assessing the influence of administrative and ownership structures. *Transportation Research Part A*, 36, 734-762.
- Cullinane, K.; Wang, T.F.; Song, D.W. And Ji, P., 2004, An Application of DEA Windows Analysis to container port production. *Review of network Economics*, 3 (2), 184-206.
- Cullinane, K.; Wang, T.F.; Song, D.W. and Ji, P., 2005, The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, 24, 73-92.
- Cullinane, K.; Wang, T.F.; Song, D.W. and Ji, P., 2006, The technical efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis. *Transportation Research Part A*, 40 (4), 354-74.
- Daraio, C., and Simar, L., 2007. *Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis: Methodology and Applications*. New York: Springer.
- Danmarks Skibskredit, 2012, Shipping Market Review, October 2012
- Deprins, D., Simar, L., Tulkens, H., 1984. Measuring labor inefficiency in post offices. In: Marchand, M., Pestieau, P., Tulkens, H. (Eds.), *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurements*. Amsterdam, North-Holland, pp. 243–267.
- Estache, A., Gonzalez, M. and Trujillo, L., 2002, Efficiency Gains from Port Reform and the Potential for Yardstick Competition: lessons from Mexico. *World Development*, 30(4), 545-60.

- Gonzalez, M. M. and Trujillo, L., 2009 Efficiency Measurement in the Port Industry: A Survey of the Empirical Evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, 43(2), 157-192.
- Hoffmann, J, Sanchez, R. J. and Wilmsmeier, G., 2006, The Impact of Port Characteristics on International Maritime Transport Costs. In *Port Economics*, edited by Costas K. Cullinane and W. K. Talley, (Elsevier), pp. 117-140.
- Hoffmann, J., and Wilmsmeier, G., 2008, Liner Shipping Connectivity and Port Infrastructure as Determinants of Freight Rates in the Caribbean. *Maritime Economics and Logistics*, 10, 130-151.
- Hoffmann, J., Micco, A., Pizzolotti, G., Sánchez, R., Sgut, M. and Wilmsmeier, G., 2003, Port Efficiency and International Trade: Port Efficiency as a Determinant of Maritime Transport Cost. *Maritime Economics and Logistics*, 5, 199–218
- Kumar, S. and Hoffmann, J., 2002, Globalisation: the maritime nexus. In *The Handbook of Maritime Economics and Business*, edited by Costas T. H. Grammenos. (London: Informa Professional) Ch 3, pp. 65-87.
- Limao, N., And Venables, A., 2001, Infrastructure, Geographical Disadvantage, Transport Costs and Trade. *World Bank Economic Review*, 15, 451-479.
- Liu, Z., 1995, The Comparative Performance of Public and Private Enterprises: The Case of British Ports. *Journal of Transport Economics and Policy*, 29 (3), 263-274.
- Martinez-Budria, E., Diaz-Armas, R., Navarro-Ibanez, M. and Ravelo-Mesa, T., 1999, A study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis. *International Journal of Transport Economics*, 26, 237–253.
- Notteboom, T., Coeck, C. and Van Den Broeck, J., 2000, Measuring and Explaining Relative Efficiency of Container Terminals by Means of Bayesian Stochastic Frontier Models. *International Journal of Maritime Economics*, 2(2), 83–106.
- Roll Y. and Hayuth, Y., 1993, Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA). *Maritime Policy and Management*, 20 (2), 153-161.
- So, S.H., Kim, J.J., Cho, G., and Kim, D.K., 2007, Efficiency Analysis and Ranking of Major Container Ports in Northeast Asia: An Application of Data Envelopment Analysis. *International Review of Business Research Papers*, 3 (2), 486-503.
- Tongzon, J. and Heng, W., 2005, Port Privatization, Efficiency and Competitiveness: Some Empirical Evidence from Container Ports (Terminals). *Transportation Research Part A*, 39, 405–24.
- Tongzon, J., 2001, Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis. *Transportation Research Part A*, 35 (2), 113-128.
- Valentine, V.F. and Gray, R., 2001, The measurement of port efficiency using data envelopment analysis, Paper presented at the World Conference on Transport Research, Seoul, South Korea, July.