

LES DÉTERMINANTS DE L'EFFICIENCE PORTUAIRE : UNE ANALYSE DES PORTS À CONTENEURS MÉDITERRANÉENS

Pierre CARIOU^{*}, Gabriel FIGUEIREDO DE OLIVEIRA^{}**

***Résumé** - Les ports jouent un rôle prépondérant dans la compétitivité des chaînes logistiques internationales et par là même dans la compétitivité des pays et des régions. Cet article propose une méthode permettant d'analyser l'efficacité des ports à conteneurs puis de comprendre les déterminants de cette efficacité. Le modèle de troncature appliqué pour l'année 2010 à 226 ports mondiaux, puis à 38 ports méditerranéens, conduit aux résultats suivants : (i) plus de la moitié des ports efficaces sont situés en Extrême-Orient et plus particulièrement en Chine (cinq ports) ; (ii) les ports ouest-méditerranéens sont relativement plus efficaces que la moyenne contrairement à ceux situés sur la côte Est et sur la mer Noire ; les ports sud-méditerranéens se trouvent dans une situation intermédiaire. Concernant les facteurs explicatifs de l'inefficacité portuaire, les résultats suggèrent que la compétitivité s'explique autant par des éléments de nature géographique (déviation vis-à-vis de la route principale) que par les caractéristiques des réseaux maritimes (âge des navires, nombre d'escales).*

Mots-clés - MÉDITERRANÉE, MODÈLE DE TRONCATURE, EFFICIENCE, PORT

Classification JEL - A1, B2

^{*} Kedge Business School ; pierre.cariou@kedgebs.com

^{**} Léad, LIA-CNRS, Université de Toulon ; figueire@univ-tln.fr

1. INTRODUCTION

Afin de favoriser leur participation au commerce international, les pays doivent disposer de chaînes logistiques performantes permettant l'accès aux marchés. Le transport maritime est à ce titre essentiel en tant que principal support des échanges mondiaux. Les ports occupent une place centrale (Limao and Venables, 2001 ; Kummar and Hoffmann, 2002 ; Fink et al., 2002 ; Clark et al., 2004 ; Sanchez et al., 2003 ; Wilmsmeier et al., 2006 ; Hoffmann et al., 2008) et l'analyse de la performance portuaire est un élément clé pour comprendre les facteurs conditionnant les échanges. L'objectif de cet article est de mieux comprendre les déterminants de cette performance portuaire et de proposer une analyse spécifique de la situation des ports méditerranéens.

Cet article aborde cette question en deux temps. Tout d'abord, une analyse dérivée des techniques d'Analyse d'Enveloppement des Données (DEA) est présentée et appliquée à un échantillon de 226 ports à conteneurs pour l'année 2010. Dans un deuxième temps, la méthode dite de « double bootstrapping » proposée par Simar et Wilson (2007) est utilisée afin d'analyser les facteurs déterminants de l'efficacité portuaire. Une analyse spécifique est conduite pour les 38 ports méditerranéens de l'échantillon.

Pour ce faire, l'article propose tout d'abord une revue de la littérature sur l'efficacité portuaire (section 2). Par la suite, la méthode de frontière non-paramétrique utilisée dans la première étape ainsi que les considérations économétriques de la deuxième étape sont présentées (Section 3). La Section 4 est dédiée à la description des variables. La Section 5 discute les résultats des estimations de la première et de la deuxième étapes. La Section 6 conclut.

2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

L'analyse de la performance d'un port (ou d'un terminal) peut se mesurer de nombreuses façons. Concernant les méthodes quantitatives, elles se basent essentiellement sur des 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) et des modèles de type 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). Dans la littérature sur la mesure de l'efficacité portuaire, les techniques d'Analyse d'Enveloppement des Données se sont imposées. L'objectif de cette méthode est de déterminer l'efficacité d'un port en fonction de sa distance à la frontière de production, qui 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 sont considérées comme plus ou moins inefficaces.

Roll et Hayuth (1993) furent les premiers à avoir utilisé cette méthode afin de mesurer l'efficacité relative dans le secteur portuaire. Martinez-Budria et al. (1999) appliquèrent le modèle de DEA *BCC* (rendements variables) pour quan-

tifier l'efficacité relative de 26 ports espagnols, classés en trois degrés de complexité managériale, pour la période allant de 1993 à 1997. Il en ressort que le degré de complexité est positivement corrélé au niveau d'*output*, ainsi qu'au classement en termes d'efficacité. 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 DEA sous sa forme *CCR*¹ 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 ; leur objectif étant d'analyser le niveau d'efficacité relative selon le mode de gestion et la structure organisationnelle. Barros et Athanassiou (2004) ont, par la suite, sélectionné deux ports grecs et quatre ports portugais pour la période de 1998 à 2000, pour appliquer le modèle de DEA sous la forme *CCR* et *BCC*. Ces auteurs ont déduit que la principale source d'inefficacité portuaire est liée à l'échelle de production.

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 l'analyse DEA (sous la forme *CCR* et *BCC*) et *Free Disposal Hull* (FDH). Ces deux techniques les ont conduits à des résultats différents. L'indice d'efficacité obtenu à partir du FDH s'avère 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) ont appliqué une version en panel du modèle de DEA (*Window analysis*) sur 25 ports à conteneurs. Il en ressort que l'efficacité fluctue au cours du temps et que la taille d'un port n'est pas la principale source d'inefficacité.

A la suite, Cullinane et al. (2006) ont appliqué sur le même échantillon l'analyse DEA et de la frontière stochastique pour quantifier l'efficacité portuaire. L'estimation obtenue à partir de ces deux approches conduit à des résultats relativement proches en termes de score d'efficacité. Pour une revue plus complète de cette littérature, on peut se référer à l'article de Gonzalez et Trujillo (2009).

La littérature sur les déterminants des scores d'efficacité (seconde étape) fait l'hypothèse que les différences dans les scores peuvent s'expliquer par divers facteurs comme l'environnement institutionnel (degré de participation privée versus publique), l'efficacité technique ou d'échelle, ainsi que des facteurs macro-économiques (PIB national ou régional, population de la ville portuaire et liaisons avec l'hinterland). Toutefois plusieurs questions demeurent et notamment celle de l'impact sur l'efficacité de l'accessibilité des ports aux réseaux de

¹ Le modèle *CCR* est le modèle de référence de la méthode de DEA. Il suppose que les rendements d'échelle soient constants.

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

transport conteneurisé. Turner, Windle et Dresner (2004) estiment par exemple, par une régression Tobit, les déterminants de l'efficacité de 26 ports à conteneurs en Amérique du Nord (1984-1997). Cinq variables sont prises en compte : la structure de l'industrie portuaire, le statut de l'autorité portuaire, la structure des transporteurs maritimes, les facteurs de localisation et des variables de contrôle. Ils en concluent que la taille du terminal, le type de contrat de concession, la taille moyenne des navires faisant escale et la connexion au réseau ferroviaire ont un impact significatif sur l'efficacité portuaire.

Barros et Managi (2008) ont appliqué la méthode de Simar et Wilson (2007) aux scores obtenus pour 39 ports japonais (2003-2005). Les variables explicatives de l'efficacité sont le PIB du pays, le statut de hub et la population. Ils concluent que l'efficacité augmente avec le temps, avec le PIB et avec le statut du port (hub ou non) alors que la population n'a pas d'influence significative. Bergantino et Musso (2011) utilisent une méthode de frontière stochastique en deuxième étape où le PIB régional, le taux d'emploi, la densité de la population et l'accessibilité sont utilisés pour expliquer le score de 18 ports d'Europe du Sud (1995-2007). Ils concluent sur le rôle positif joué par ces facteurs sur l'efficacité, à l'exception du niveau de l'emploi.

Enfin, Niovas et Tsekeris (2011) identifient les principaux déterminants de l'efficacité technique des ports à conteneurs en Europe du Sud-Est. Ils concluent que les grands ports ont tendance à être plus performants et que la privatisation d'un terminal combinée à la participation d'un opérateur international dans les terminaux portuaires améliorent la performance du port, en accord avec les travaux de Cullinane et Song (2003), Estache et al. (2002) et Tongzon et Heng (2005). Enfin, la déviation par rapport à la route principale, le PIB du territoire ainsi que la population jouent un impact positif sur l'efficacité.

3. MÉTHODOLOGIE

Cet article s'appuie lors de la première étape sur les techniques de frontières non paramétriques afin de mesurer l'efficacité des ports à conteneurs. L'Analyse d'Enveloppement des Données (DEA) utilisée peut être définie comme étant une programmation linéaire, fondée 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 qu'il soit besoin, au préalable, de définir la forme que doit prendre cette fonction.

Bien que de nombreuses études se fondent sur les méthodes de DEA pour évaluer l'efficacité portuaire (section 1), plusieurs hypothèses restent problématiques. Il s'agit notamment de l'hypothèse de convexité qui suppose des combinaisons linéaires entre ports pour établir la frontière efficiente. En effet, 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, tout accroissement de la production ne peut passer que par le saut vers un nouveau palier de coûts fixes. En cela, il apparaît que la frontière de production portuaire prend plutôt une forme en escalier.

Cet élément nous conduit à rejeter l'hypothèse de convexité et à privilégier un modèle FDH proposé par Deprins et al. (1984). Il 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*. Dans ce cadre, si n représente le nombre de ports que l'on cherche à évaluer, nous faisons l'hypothèse que chaque port consomme un ensemble d'*inputs* $x \in R_+^p$ pour produire $y \in R_+^q$. L'ensemble des points susceptibles d'être réalisés Ψ peut être formulé comme suit :

$$\Psi = \{(x, y) \in R_+^{p+q} | x \text{ peut produire } y\} \quad (1)$$

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 :

$$P(x) = \{y \in R_+^q | (x, y) \in \Psi\} \quad (2)$$

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

$$\partial P(x) = \{y | y \in P(x), \lambda_y \notin P(x) \forall \lambda > 1\} \quad (3)$$

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

$$\lambda(x_0, y_0) = \sup\{\lambda | \lambda y_0 \in P(x_0)\} \quad (4)$$

L'objectif final de la mesure de l'efficacité relative est d'identifier deux catégories, selon que le score d'efficacité est égal ou supérieur à l'unité³.

La deuxième étape vise à expliquer les scores d'inefficacité ($\hat{\lambda}_k$) obtenus lors de la première étape par un ensemble de variables explicatives ou de variables environnementales.

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_k &= \beta z_k + \varepsilon_k \\ \text{st. } \hat{\lambda}_k &\geq 1 \end{aligned} \quad (5)$$

Le recours aux modèles de troncature s'appuie sur les travaux de Simar et Wilson (2007) qui montrent que les estimateurs Tobit sont biaisés pour deux raisons. Tout d'abord, comme la véritable frontière ne peut pas être observée et que les scores d'efficacité sont remplacés par les valeurs estimées de ($\hat{\lambda}_k$), une corrélation sérielle du terme d'erreur peut en découler. Deuxièmement, il existe une corrélation potentielle entre les variables Z et le terme d'erreur, car les variables d'environnement peuvent être corrélées aux *inputs* et *outputs* retenus lors de la première étape (et donc avec $\hat{\lambda}_k$). Dans de telles circonstances, les approches standards d'inférence lors de la deuxième étape peuvent être invalidées.

Afin d'obtenir des coefficients bêta non biaisés et des intervalles de confiance valides, nous retenons pour nos estimations la procédure de double boot-

³ Pour la version d'orientation en *output*, le score d'efficacité λ est compris entre 1 et plus l'infini.

strap recommandée par Simar et Wilson (2007). Dans ce cadre, l'équation (5) est estimée par la méthode de maximum de vraisemblance tronquée, afin d'obtenir $\hat{\beta}$ et $\hat{\sigma}$, et pour chaque observation, un ensemble de ε_k d'une distribution $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ et une troncature à $1 - \beta z_k$ est reprise afin de calculer $\lambda_k^* = \hat{\beta} z_k + \varepsilon_k$. Cette procédure est répliquée 1000 fois et la fréquence des estimations de bootstrap est utilisée pour fournir l'inférence pour $\hat{\beta}$.

4. ÉCHANTILLON ET VARIABLES

Cette étude détermine tout d'abord l'efficacité relative de 226 ports à conteneurs en 2010. Les données proviennent pour les *inputs*, de *Containerisation International yearbook* (2010), *Port Guide* (2011), et pour les *outputs* de *CI-online* (2011). L'objectif pour chaque unité de production (le port) est de maximiser le débit annuel de conteneurs repris dans le nombre de mouvements mesurés en EVP. Cet indicateur a pour avantage de représenter une unité standard facilitant la comparaison interportuaire.

Concernant les *inputs*, trois variables ont été sélectionnées, à savoir : la longueur totale des quais, le nombre de portiques à conteneurs et le nombre de yard crane. La première variable capte les capacités nautiques du port et permet d'intégrer la taille et le nombre de navires pouvant être réceptionnés simultanément par le port. La deuxième variable s'intéresse aux opérations à quai sachant que les portiques à conteneurs sont les principaux équipements utilisés pour charger/décharger les navires et que leur nombre a un impact positif sur la production portuaire. Enfin, la dernière variable s'intéresse aux capacités de stockage qui est la troisième phase du processus portuaire. Les statistiques se rapportant à ces différentes variables sont résumées dans le tableau 1 pour les 226 ports de l'échantillon.

Tableau 1. Statistiques des inputs et des outputs des 226 ports à conteneurs en 2010

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Obs.
Longueurs des quais	2321,4	2456,5	170	16000	226
Nombre de portiques	16,9	22,8	1	191	226
Nombre de Yard crane	40,1	62,7	1	413	226
Débit annuel (EVP)	2 005 222	3 970 998	48 707	290 000 000	226

Source : auteurs d'après *Containerisation International*, *CI-online*, *Port Guide* et *Lloyd's Ports of the World*.

Trois variables explicatives sont utilisées pour expliquer, lors de la seconde étape, les scores d'efficacité obtenus lors de la première étape pour l'ensemble des 226 ports (voir tableau 2). Le premier facteur est la population de la ville portuaire qui peut être vu comme un facteur reflétant l'importance de l'hinterland local⁴ et qui est, a priori, positivement corrélé à l'efficacité portuaire. Selon

⁴ Voir à ce sujet, ONU, *Urbanisation mondiale Prospect*, 2014, *Révision* et le site : <http://www.citypopulation.de>

ce critère, Tokyo-Yokohama avec 36 800 000 habitants, puis Shanghai (20 millions) et Mumbai (19,4 millions) sont les trois plus grandes villes portuaires.

La deuxième variable est l'Indice de Connectivité des Lignes Régulières (LSCI) pour l'année 2010. Cet indice élaboré par la CNUCED⁵, est composé des cinq éléments suivants : nombre de navires porte-conteneurs touchant un pays, capacité totale déployée en EVP, nombre de compagnies de lignes régulières, nombre de services fournis et taille maximale des navires. Cette variable donne une information directe sur la connectivité d'un pays et sur la pression concurrentielle des compagnies de lignes. A priori, l'efficacité d'un port est corrélée positivement à cet indicateur qui apparaît le plus important pour la Chine (143,6), Hong-Kong (113,6) et Singapour (103,8).

Tableau 2. Statistiques descriptives de la seconde étape

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Obs.
Population	2 361 744	4 521 976	19 063	36 800 000	226
LSCI	52,9	35,9	4,2	143,6	226
Nombre de firmes	9,9	7,1	1	32	226
Âge des navires	12,6	4,2	8,1	33	37
Nombre d'escales	766,6	676,4	1	2387	37
Déviations*	1,3	0,8	0	2	38

* Variable qualitative à trois modalités : 0 si la déviation est inférieure à 100 milles nautiques, 1 si la déviation est comprise entre 100 et 250 milles nautiques et 2 si la déviation est supérieure à 250 milles nautiques.

Source : ONU, *urbanisation mondiale Prospect*, CNUCED (LSCI), *World Port Source* (<http://www.worldportsource.com/shipping/linerService.php>).

La troisième variable concerne la connectivité au niveau portuaire. Elle est représentée par le nombre de compagnies maritimes de lignes desservant chaque port. Cette variable a été construite à partir des données provenant de *World Port Source*.

Par ailleurs, un second groupe de variables a été retenu pour l'échantillon réduit aux seuls ports de la Méditerranée (38 ports). Il est d'abord envisagé une variable qualitative à trois modalités, en fonction de la déviation du port par rapport à la route principale, reliant la sortie du Canal de Suez au détroit de Gibraltar (Rodrigue et Notteboom, 2010 – cf. carte en annexe). Cette variable prend la valeur zéro si la déviation est inférieure à 100 milles nautiques, 1 si la déviation est inférieure à 250 milles nautiques, et 2 si la déviation est supérieure à 250 milles nautiques. Nous constatons que les ports les plus éloignés de la route maritime principale sont ceux situés sur la côte Est de la Méditerranée ainsi que les ports de la mer Noire. En effet, 85% de ces ports ont une déviation supérieure à 250 milles nautiques.

Les deux autres variables spécifiques considérées sont l'âge moyen des navires desservant les ports (âge) et le nombre annuel d'escales pour un port. Sur

⁵ Voir le site : <http://unctadstat.unctad.org/>

ce plan, les ports de la côte Ouest de la Méditerranée attirent un trafic plus important, avec des navires plus récents.

Tableau 3. Statistiques descriptives de la seconde étape (ports de la Méditerranée)

	Obs	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Déviaton	13	1,85	0,4	1	2
1 Âge navires	13	12,8	3,1	8,1	17,4
Nbre escale	13	439,9	320,6	58	1290
Déviaton	13	1,08	1	0	2
2 Âge navires	13	14,4	6,1	10,2	33
Nbre escale	13	669,7	570,6	1	1754
Déviaton	12	1,08	0,9	0	2
3 Âge navires	12	10,5	1,4	8,4	12,6
Nbre escale	12	1190,2	839,7	16	2387

1 : Méditerranée côte Est et mer Noire ; 2 : Méditerranée rive Sud ; 3 : Méditerranée côte Ouest.

Source : auteurs à partir des données Alphaliner (<http://www.alphaliner.com/>).

5. ANALYSE DE L'EFFICIENCE DES PORTS A CONTENEURS

5.1. Indicateur de dotation en infrastructures (analyse factorielle)

L'élaboration d'un indice des infrastructures portuaires a été réalisée à l'aide de l'analyse factorielle. L'objectif est d'obtenir un indicateur permettant de classer le niveau d'infrastructures (sur les variables d'*inputs*) des différents ports de l'échantillon. Cette technique permet de synthétiser l'information en un nombre limité de facteurs représentant une proportion importante de la variance totale des variables originelles. Les résultats de l'analyse factorielle sont présentés dans le tableau 4. D'après les critères de Kaiser, les facteurs ne doivent être conservés que si leur valeur propre (*eigenvalue*) est supérieure à l'unité – ce qui dans notre cas conduit à ne retenir qu'un seul facteur qui compte pour près de 90 % de la variance totale.

Tableau 4. Analyse factorielle : indices de dotation en infrastructures

Facteurs	Eigenvalue	Différence	Proportion	Cumulative
Facteur 1	2,673	2,459	0,891	0,891
Facteur 2	0,214	0,101	0,071	0,962
Facteur 3	0,113		0,038	1
Poids factoriel	Facteur 1	Uniqueness		
Longueurs des quais	0,935	0,125		
Nombre de portiques	0,962	0,074		
Nombre de Yard	0,934	0,128		

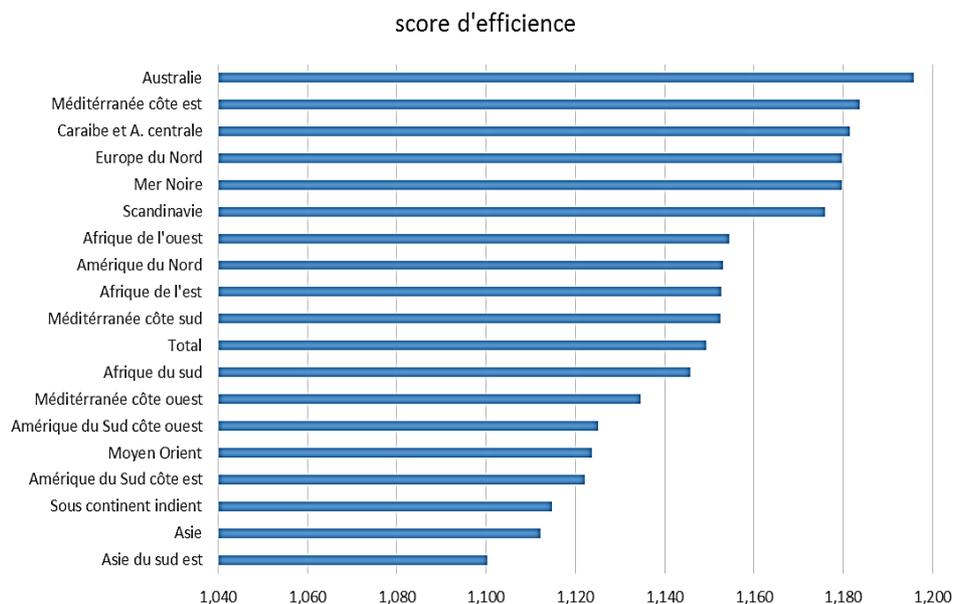
Source : auteurs d'après Containerisation International, CI-online, Port Guide et Llord's Ports of the World.

D'après cette analyse, il ressort que l'indice le plus élevé correspond à celui du port de Singapour, alors que le plus faible correspond au port de Fukuyama (Japon). Comme on pouvait s'y attendre, cet indice est fortement corrélé (0,77) au débit annuel en EVP, et il peut être ainsi interprété en termes de dotation en infrastructures portuaires. De plus, des écarts significatifs existent en termes de production portuaire, malgré des indices similaires. Par exemple, le débit en EVP pour le port de Tanjung Pelepas (Malaisie) est plus de trois fois et demie supérieur en 2010 à celui du port de Gênes (Italie), alors que son indice d'infrastructures est identique. Il semble donc que certains ports aient une plus grande aptitude à atteindre un niveau élevé de production pour un niveau donné d'inputs, ce qui met en avant des écarts importants de productivité entre les ports de l'échantillon.

5.2. Estimation des indices d'efficacité portuaire

D'après les résultats sur les scores d'efficacité obtenus (figure 1), plusieurs constats peuvent être effectués. D'une part, 11 des 226 ports sont efficaces et la moyenne des scores s'élève à 1,147. Parmi les ports considérés comme efficaces, plus de la moitié sont situés en Extrême-Orient et plus particulièrement en Chine (cinq ports). Concernant les ports méditerranéens, il ressort que ceux situés à l'Ouest sont relativement plus efficaces que la moyenne contrairement à ceux de la côte Est et de la mer Noire. Quant aux ports sud-méditerranéens, ils se trouvent dans une situation intermédiaire avec des scores d'efficacité proches de la moyenne.

Figure 1. Score moyen d'efficacité par région



Source : élaborée par les auteurs.

Afin de mieux appréhender les écarts d'efficience entre les ports de la Méditerranée, nous avons classé les ports en quatre quartiles (tableau 4). Seul cinq ports méditerranéens sur 57 appartiennent au premier quartile (le plus efficace), dont deux sont situés sur la côte Ouest (Espagne et Malte), deux sur la rive Sud (Égypte) et un sur la côte Est (Grèce). Pour les dix ports méditerranéens appartenant au quatrième quartile (les moins efficaces), la moitié est situé sur la côte Est ou sur les rives de la mer Noire. Si des écarts significatifs en termes d'efficience existent entre les sous-régions méditerranéennes, ils peuvent être encore plus importants au sein d'un même pays. Par exemple, la Grèce et l'Espagne disposent de ports appartenant à la fois au premier (Le Pirée, Algésiras) et au dernier quartile (Thessalonique, Malaga). Quant aux ports italiens de la côte Ouest, ils ont un score légèrement inférieur à la moyenne (1,146) alors que ceux situés sur la côte Est sont parmi les moins efficaces (score moyen 1,2).

Tableau 4. Classement des ports méditerranéens en termes d'efficience

	country	port	rang	country	port	rang	
quartile 1 (rang 1-57)	Grèce ²	Piraeus	13	Italie ¹	La Spezia	67	quartile 2 (58-113)
	Égypte ³	Port Said	21	Israël ³	Haifa	71	
	Espagne ¹	Algeciras	22	Espagne ¹	Valencia	73	
	Malte ¹	Marsaxlokk	31	Égypte ³	Alexandria	78	
	Égypte ³	Damietta	47	Turquie ³	Izmir	84	
				Turquie ³	Mersin	85	
				Israël ³	Ashdod	87	
				France ¹	Marseille	94	
				Maroc ³	Casablanca	96	
				Italie ¹	Gioia Tauro	102	
			Italie ¹	Cagliari	108		
			Roumanie ⁴	Constantza	110		
	country	port	rang	country	port	rang	
quartile 3 (114-170)	Égypte ³	El-Dekheila	128	Russie ⁴	Novorossiysk	176	quartile 4 (170-226)
	Espagne ¹	Seville	131	Turquie ³	Ambarli	177	
	Slovenie ²	Koper	138	Espagne ¹	Malaga	179	
	Italie ¹	Leghorn	146	Italie ²	Trieste	189	
	Espagne ¹	Barcelona	148	Grèce ²	Thessaloniki	190	
	Italie ²	Taranto	154	Libye ³	Benghazi	202	
	Italie ¹	Genoa	156	Italie ²	Ravenna	203	
	Italie ²	Venice	157	Turquie ³	Haydarpasa	213	
	Bulgarie ⁴	Varna	160	Algérie ³	Bejaia	215	
	Ukraine ⁴	Odessa	164	Croatie ²	Rijeka	218	
Chypre ²	Limassol	165					

Seuls les ports de la Méditerranée sont reportés dans ce tableau. 1 : Méditerranée côte Ouest ; 2 : Méditerranée côte Est ; 3 : Méditerranée Sud, 4 ; mer Noire.

Le niveau d'efficience semble plutôt être influencé par le niveau d'accessibilité que par la taille de la ville portuaire. En effet, les grandes villes portuaires de la Méditerranée (Barcelone, Marseille, Gênes) ont une distance à la

frontière d'efficacité plus importante que celle des Hubs comme Algésiras, Marsaxlokk, Gioia Tauro ou ceux dont le transbordement représente une part importante de leur trafic comme Valence. En effet, ces derniers tirent leurs avantages d'une plus grande proximité de la route maritime principale. Pour les ports situés le long de la Méditerranée, le score moyen d'inefficacité augmente, passant du 25^{ème} au 75^{ème} rang en pourcentage lorsque la déviation par rapport à la route principale est supérieure à 250 milles nautiques.

5.3. Les déterminants de l'efficacité portuaire

Les résultats des régressions bootstrap tronquées (deuxième étape), appliquées aux ports inefficaces identifiés lors de la première étape (soit 215 ports) sont donnés dans le tableau 5. Le score d'inefficacité est régressé en fonction de trois variables : la population, l'indice de connectivité des lignes régulières (LSCI) et le nombre de firmes desservant le port.

Tableau 5. Résultats des estimations

	Modèle 1	Modèle 2
Population (Log)	-0,009***	-0,005
LSCI (Log)	-0,016***	-0,014
Nbre de compagnie (Log)	-0,034***	-0,042***
EF_mer Noire		-0,031
EF_Méditerranée côte est		-0,035
EF_Méditerranée sud		-0,046
EF_Méditerranée côte ouest		-0,049*
EF_Scandinavie/Baltique		-0,057*
EF_Moyen-Orient		-0,073**
EF_Sous continent indien		-0,06
EF_Asie du sud-est		-0,082***
EF_Extrême-Orient		-0,058**
EF_Australasie		0,019
EF_Amérique du nord		0,008
EF_Amérique centrale et Caraïbes		-0,001
EF_Amérique du sud côte ouest		-0,061
EF_Amérique du sud côte est		-0,038
EF_Afrique de l'est		-0,048
EF_Afrique de l'ouest		-0,019
EF_Afrique du Sud		0,006
<i>N</i>	215	215

Modèles de double bootstrap sur les scores d'efficacité déterminés par la méthode FDH. ***, **, *, significativement différent de 0 à respectivement 1 %, 5 % et 10 %.

Au vu des résultats obtenus, les principales conclusions sont les suivantes. Le coefficient négatif pour la population de la ville portuaire suggère que les ports situés à proximité de grandes villes, et donc avec un large *hinterland* local, ont tendance à être plus efficaces. Concernant l'impact de la concurrence entre les différentes compagnies maritimes, capturée par LSCI ainsi que par le nombre de compagnies desservant chaque port, les résultats confirment qu'un port bien connecté aux routes maritimes internationales est plus efficace.

Dans le modèle 2 du tableau 4, 17 variables *dummies*⁶ sont ajoutées afin de savoir s'il existe des effets propres aux régions méditerranéennes. Il en ressort que l'effet région est significatif pour les ports de la Méditerranée de la côte Ouest, suggérant que des facteurs propres aux ports de cette région permettent à ces derniers d'être plus performants que la moyenne. Ces facteurs spécifiques peuvent notamment consister en une meilleure accessibilité de ces ports.

Une seconde série de résultats (tableau 5; Figures 2 et 3 en annexe) porte sur un échantillon se réduisant aux seuls ports de la Méditerranée (soit 38 ports). Pour cet échantillon, des données plus précises concernant l'accessibilité portuaire ont été collectées et notamment la déviation par rapport à la route maritime principale. À ce propos, l'on note que plus cette déviation est importante (supérieure à 250 milles nautiques), et plus les ports sont inefficients (Figure 3).

Une deuxième variable d'intérêt concerne l'âge des navires faisant escale dans un port. Le nombre de navires faisant escale dans un port est également considéré. Pour ces deux dernières variables, les estimations confirment que l'âge des navires et le nombre de navires faisant escale ont une influence positive et significative sur l'efficacité portuaire.

**Tableau 6 : Résultats des estimations
(échantillon réduit aux ports de la Méditerranée)**

	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5
Population (Log)	0,001	0,002	0,002
LSCI (Log)	-0,009	-0,013	-0,004
Nombre de companies (Log)	-0,031***	-0,024***	-0,023***
Déviation	0,026***		
Âge des navires (Log)		0,123*	
Nombre d'escales (Log)			-0,022***
<i>N</i>	38	38	38

Modèles de double bootstrap sur les scores d'efficacité déterminés par la méthode FDH. ***, **, *, significativement différent de 0 à respectivement 1 %, 5 % et 10 %.

6. CONCLUSION

L'objectif de cet article a été de proposer une analyse permettant de mieux comprendre les déterminants de l'efficacité des ports à conteneurs. Cette analyse conduit aux conclusions suivantes: (i) les ports à conteneurs efficaces sont plutôt de grande taille ; (ii) ils sont pour plus de la moitié situés en Extrême-Orient et plus particulièrement en Chine; (iii) les ports est-méditerranéens, ainsi que ceux situés sur la mer Noire, sont parmi les ports les moins efficaces ; (iv) une plus grande connectivité maritime aux marchés mondiaux permet de réduire l'inefficacité portuaire ; (v) en Méditerranée, l'inefficacité tend à augmenter pour les ports recevant des navires âgés.

⁶ Une pour chaque région exceptée pour l'Europe du Nord, pour éviter une colinéarité parfaite.

Compte tenu de l'impact de la performance portuaire pour la compétitivité d'un pays ou d'une région, ces résultats sont d'importance. Ils suggèrent notamment que si une partie de la compétitivité portuaire d'un pays peut s'expliquer par des éléments de nature géographique (déviation vis-à-vis de la route principale), les caractéristiques des réseaux maritimes mis en place par les compagnies maritimes (âge des navires, nombre d'escales) jouent également un rôle important. Il en va de même concernant l'intensité concurrentielle mesurée au niveau national ou portuaire (nombre de compagnies offrant des services), un élément qui mériterait à l'avenir des analyses complémentaires.

REFERENCES

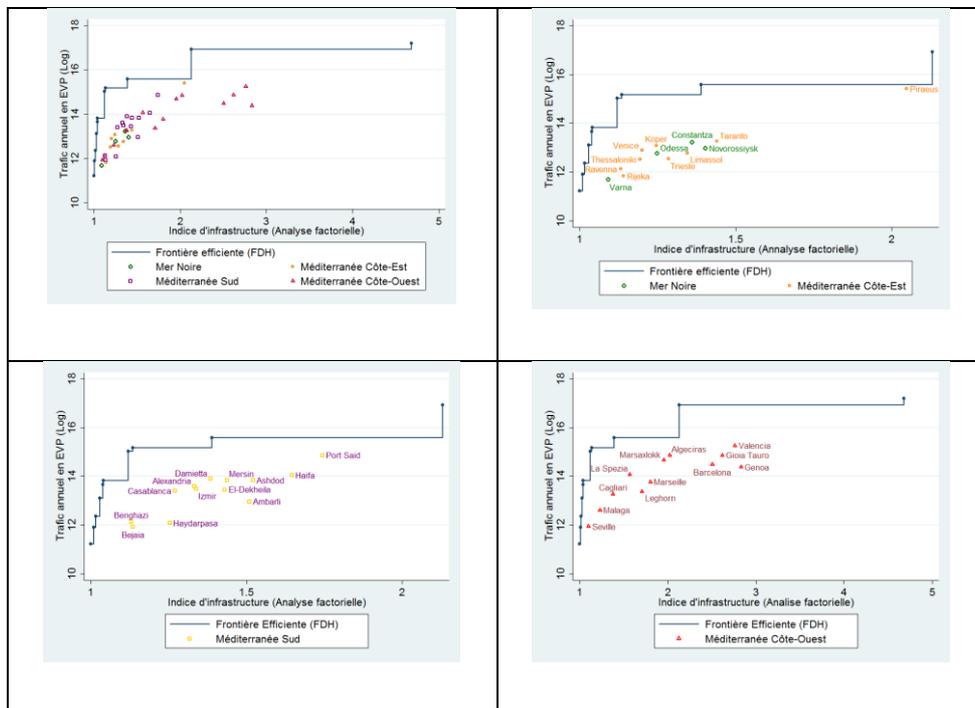
- Banos Pino, J., Coto Millan, P., J., Rodrigues Alvarez, A., 1999, "Economic Allocative Efficiency and Over-capitalization: an Application", *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 181-99.
- Barros, C.P., Athanassiou, M., 2004, "Efficiency in European seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal", *Maritime Economics & Logistics*, 6 (2), 122-140.
- Barros, C.P., Managi, S., 2008, "Productivity drivers in Japanese seaports", *Technical university of Lisbon. Working Paper 15/2008/DE/UECE*.
- Bergantino, A. S., Musso, E., 2011, "The role of external factors versus managerial ability in determining seaports' relative efficiency: An input-by-input analysis through a multi-step approach on a panel of Southern European ports", *Maritime Economics & Logistics*, 13 (2), 121-141.
- Clark, X., Dollar, D., Micco, A., 2004, "Port Efficiency, Maritime Transport Costs, and Bilateral Trade", *Journal of Development Economics*, 75(2), 417-450.
- Coto Millan, P., Banos Pino, J., Rodrigues Alvarez, A., 2000, "Economic Efficiency in Spanish Ports: Some Empirical Evidence", *Maritime Policy & Management*, 27 (2), 169-175.
- Cullinane, K., Song, D.W., 2003, "A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminal". *Applied Economics*, 35 (3), 251-267.
- Cullinane, K., Wang, T.F., Song, D.W., Ji, P., 2005, "The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency", *Journal of Productivity Analysis*, 24 (1), 73-92.
- Cullinane, K., Wang, T.F., Song, D.W., Ji, P., 2006, "The technical efficiency of container ports: comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis". *Transportation Research Part A*, 40 (4), 354-374.
- Cullinane, K., Song, D.W., 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 (8), 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.
- Estache, A., Gonzalez, M., Trujillo, L., 2002, "Efficiency gains from port reform and the Potential for Yardstick Competition: lessons from Mexico", *World Development*, 30 (4), 545-60.
- Fink, C., Mattoo, A., Neagu, I. C., 2002, "Trade in international maritime services". *World Bank Economic Review*, 16(1), 81-107.
- Hoffmann, J., Wilmsmeier, G., 2008, "Liner shipping connectivity and port infrastructure as determinants of freight rates in the Caribbean", *Maritime Economics and Logistics*, 10(1), 130-151.
- Kumar, S. et Hoffmann, J., 2002. Globalization, the maritime Nexus. In: Grammenos, C.Th. (Ed.), *Handbook of Maritime Economics and Business*, London, 35-64.
- Limao, N., Venables, A., 2001, "Infrastructure, Geographical Disadvantage, Transport Costs, and Trade", *World Bank Economic Review*, 15(3), 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., Ravelo-Mesa, T., 1999, "A study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis", *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 237-253.
- Niavis, S., Tsekeris, T., 2012, "Ranking and causes of inefficiency of container seaports in South-Eastern Europe", *European Transport Research Review*, 4 (4), 235-244.
- Notteboom, T., Coeck, C., 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.
- Rodrigue, J-P., Notteboom T., 2010, "Foreland-Based Regionalization: Integrating Intermediate Hubs with Port Hinterlands", *Research in Transportation Economics*, Vol. 27, 19-29.
- Roll, Y., Hayuth, Y., 1993, "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis", *Maritime Policy and Management*, 20 (2), 153-161.
- Sanchez, R. J., Hoffmann, J., Micco, A., Pizzolitto, G.V., Sgut, M., Wilmsmeier, G., 2003, "Port efficiency and international trade: Port efficiency as a determinant of maritime transport costs", *Maritime Economics and Logistics*, 5(2), 199-218.
- Simar, L., Wilson, P., 2007, "Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes" *Journal of Econometrics*, 136 (1), 31-64.

- Tongzon, J., 2001, "Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis", *Transportation Research Part A*, 35 (2), 113-128.
- Tongzon, J., Heng, W., 2005, "Port Privatization, Efficiency and Competitive-ness: Some Empirical Evidence from Container Ports (Terminals)", *Transportation Research Part A*, 39 (5), 405-424.
- Turner, H., Windle, R., Dresner, M., 2004, "North American containerport productivity: 1984-1997", *Transportation Research Part E*, 40(4), 339-356.
- Valentine, V.F., 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.
- Wilmsmeier, G., Hoffmann, J., Sanchez, R., 2006, "The Impact of Port Characteristics on International Maritime Transport Costs". In Cullinane, K., Talley, W. K. (Eds.), *Port Economics, Research in Transportation Economics*, 16(1), pp. 117-140.

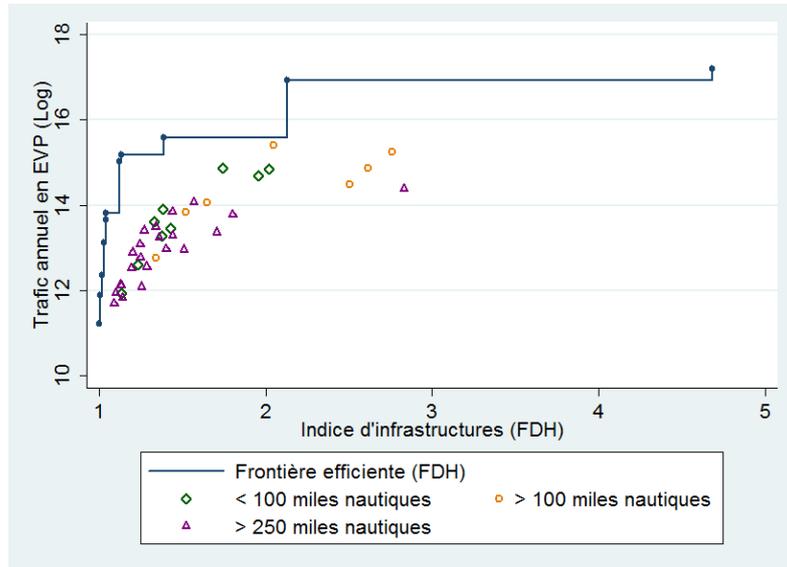
ANNEXES

Figure 2. Distance à la frontière pour les ports méditerranéens



Source : élaborée par les auteurs.

Figure 3. Efficience relative et déviation par rapport à la route principale



Source : élaboré par les auteurs.

Carte



Source : Rodrigue and Notteboom (2010).

**DETERMINANTS OF PORT EFFICIENCY: AN ANALYSIS
OF MEDITERRANEAN CONTAINER PORTS**

Abstract - Ports are essential for international supply chains and therefore, for understanding the competitiveness of countries and regions. This article proposes a method to evaluate container port efficiency and to identify the determinants of port efficiency scores. The double bootstrapping model applied to 226 container ports and 38 Mediterranean ports in 2010 leads to the following conclusions. Half of efficient container ports are located in Asia and in particular, in China (5 ports). Western Mediterranean ports are relatively more efficient, contrary to those located on the East Coast or in the Black Sea. Southern Mediterranean ports are close to the average. Furthermore, port inefficiency would be as much explain by geographical factors (deviation to main international shipping routes) than by network characteristics such as the number of calls and the average age of vessel calling.

Key-words - CONTAINER PORTS, EFFICIENCY, BOOTSTRAPPING MODEL