

## Contribution à l'évaluation de la performance du port et terminal à conteneur : cas Tanger Med

*Azzelarab ZAOUDI, Abid IHADIYAN, and Hassane ZOUIRI*

Département : Intégration régionale, Migrations, Emploi et Développement,  
Groupe de Recherche en Economie et Territoire,  
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales de Tanger,  
Université Abdelmalek Essaâdi, Morocco

---

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This paper seeks to contribute to the assessment of the performance of container terminal at Tangier Med (phase I). It proposes to apply the UNCTAD model simulation capacity by a series of empirical analysis of port performance indicators (terminal) Tanger Med, action variables discussed in this present work are based on various factors related to different processes of terminal and become indicators on which the management of the terminal relies on for problem solving and decision making valid to improve the performance of the port (terminal).

The concepts annual throughput, Port stay, terminal capacity, quay and yard utilization, service quality among others allow for the completion of the objectives of this Article.

**KEYWORDS:** Terminal, Container, Performance, Capacity, Simulation.

**RESUME:** Cet article cherche à contribuer à l'évaluation de la performance du terminal à conteneur Tanger Med (phase I). Il propose d'appliquer le modèle UNCTAD de simulation de la capacité par une série d'analyse empirique des indicateurs de performance du port (terminal) Tanger Med, les variables d'actions discutées dans ce présents travail se basent sur des facteurs liés aux différents process du terminal qui deviennent des indicateurs sur lesquels le management du terminal s'appui pour la résolution de problème et la prise de décisions valables à l'amélioration de la performance du port (terminal). Les concepts de flux annuel, délais de séjour, capacité du terminal, taux d'occupation de quai et de parc, qualité de service permettent entre autres à l'aboutissement des objectifs du présent article.

**MOTS-CLEFS:** Terminal, Conteneur, Performance, Capacité, Simulations.

### 1 INTRODUCTION

De nos jours, les recherches en matière de terminal à conteneur deviennent d'une importance capitale, ceci, est dû largement à la croissance rapide du flux de la conteneurisation qu'a connu le monde à partir des années soixante, qui ait induit une dramatique réduction des coûts du transport et du commerce international.

Les ports et les terminaux à conteneur forment désormais un maillon indissociable du système de transport intermodal, le trafic maritime des conteneurs ne cesse de croître, incitant toutes les intelligences économiques du secteur à se focaliser sur la question de la performance du terminal. Le port Tanger Med situé sur le détroit de Gibraltar offre de meilleures perspectives de performance, de promotion régionale, nationale et internationale du pays.

L'agence spéciale (TMSA) représente l'Etat dans le port Tanger Med -connu dans le jargon maritime par le *landlord*-dispose des terrains(*Yard*) et des équipements portuaires qu'il mette à la disposition des opérateurs, ces derniers s'occupent

de l'exploitation et de la gestion du terminal et de ses équipements, le contrat (partenariat public privé) qui lie ces deux intervenants de secteur prend généralement la forme de concession.

En effet, le terminal à conteneur pourvoit les compagnies maritimes et armateurs connu par les "lines" ou lignes maritimes par un ensemble de services logistiques et facilités en terme des opérations de déchargement, chargement, services particuliers dont Transvasement (*Stripping & Stuffing*), Certificat de Non Manipulation, fuel pour navire (*bunkering*), magasinage des conteneurs (*Storage*), L'amarrage du navire (*Berthing/Unberthing*) et opérations d'arrimage (*lashing/unlashing*), service de ballastage (gestion de profondeur ou tirant d'eau du navire), gestion spéciale des frigorifiques, service d'étiquetage (*labelling*) des IMDG<sup>1</sup> (conteneur de classe dangereuse), pesage des conteneurs directs (*weighing*) réparation de conteneur ou de différents équipements de structure de navire, etc.

L'évaluation de la performance d'un terminal à conteneur s'avère complexe faisant appel à la compréhension étendue de l'ensemble des process d'opération de terminal. Nous envisageons de présenter une étude détaillée de la performance à travers l'analyse synthétique de la capacité et des indicateurs de performance rattachés à la prestation des équipements, des activités et de l'opération.

#### **OBJECTIFS ET PROBLEMATIQUE**

Cet article a pour objectif de contribuer à l'évaluation de la performance de terminal à conteneur Tanger Med (Phase I). On tente alors d'évaluer la performance du terminal à conteneur à travers l'analyse de sa capacité et en fonction d'un ensemble de critère et indicateurs clé de performance.

Les facteurs de performance sont les ingrédients essentiels de l'analyse, nous présentons quelques résultats de la recherche empirique récente issue des statistiques du terminal.

Les retombées scientifiques de cet article est de fournir un cadre de référence aux académiques, scientifiques et professionnels de métiers, truffé d'analyse et de simulation.

## **2 REVUE DE LITTERATURE ET PROCESSUS DU TERMINAL A CONTENEUR**

La quête à l'amélioration continue de la performance est d'une importance cruciale, comme toute industrie, l'industrie maritime mesure sa performance, en terme de l'efficience (plein emploi des ressources), et de l'efficacité (productivité des équipements) qui permettent la réalisation des objectifs prédéterminés, (Mentzer et Konard, 1991), la compétitivité internationale du port d'une nation reste tributaire de ces facteurs d'efficience et d'efficacité (Tongzon, 1989, Chin et Tongzon, 1998), l'acquisition des équipements est très couteuse, les grues de quai (*Quay crane*) sont évaluées à 8 millions de dollars américain (Slack 2001), une sous-utilisation des équipements engendre un manque à gagner (*capital loss*) et des coûts supplémentaires de recourir au terminal, qui causent des retards au navire (mesuré par le ratio de *turnaroundtime*), et par conséquent, un manque à gagner au consommateur final (Tahar et Hussein, 2000).

Certains auteurs limitent leurs approchent de mesure de performance à l'approche financière, selon Leonardo, la performance peut être mesuré à partir de la perspective "valeur ajoutée" (*value added perspective*), qui est définie comme étant une différence entre le revenu du terminal et le coût du terminal, UNCTAD<sup>2</sup> (CNUCED en français) à présenter dans un tableau un ensemble d'indicateurs de performance selon les deux approches : financière et opérationnelle, une telle distinction peut servir de référence (Marlow et Casaca, 2003), d'autres préfèrent le calibrage de performance par comparaison des ports tout en les mettant dans des boules homogènes (homogénéisation catégorique), une tâche qui n'est pas du tout simple (complexité des ports), (Valentine et Gray, 2000), l'évaluation de la performance par le calcul de la productivité (Tabernacle, 1995; Bendall et Stent, 1987; De Monie, 1987)est tout de même traditionnelle, un certain progrès en la matière est notable, les approches économétrique, holistiques baptisées *Data Envelopped Analysis* (DEA) et *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) commencent à se répandre dans le milieu scientifique (Culliane et al, 2004 ; Saches et al, 2002).

---

<sup>1</sup>*International maritime dangerous cargo*

<sup>2</sup>United Nations Conference on Trade and Development.Ad-Hoc Expert Meeting 2012.

En effet, les ports sont diverses, et se positionnent dans un maillage de ligne spécifique, il existe des ports « hub » dont le trafic se compose principalement de transbordement, d'autres sont des « gateway » leur trafic est formé de conteneurs directs (import et export), ils se situent à l'entrée du hinterland, comme il existe des ports mixtes, dont le trafic est partagé entre transbordement et directs, (Alain CHAMBREUIL, CETMEF, 2011)<sup>3</sup>, ainsi le Port Tanger Med est un hub dans la mesure où il réalise un trafic élevé de transbordement franchissant les 90% du trafic manipulé, le Maroc détient désormais un avantage comparatif en la matière principalement gagné du fait de sa position géostratégique portant sur les deux façades de la Méditerranée et de l'Atlantique. Pour rappel, le transbordement est un système qui consiste à transborder des conteneurs d'un navire à un autre, certains parlent de transbordement « relais » dans la logique où le système cherche l'optimisation des grand flux globaux, le transbordement se fait d'un navire mère à un autre navire mère, tandis que certains d'autres évoquent le système *hub & spoke*, lorsque le transbordement se fait d'un navire mère qui distribuent ses cargos à des feeders c'est-à-dire à des navires nourriciers dont le périmètre est restreint géographiquement.

A l'heure actuelle, le trafic des conteneurs dans le monde a plus que doublé par rapport aux années nonante, il atteint à peu près les 550 millions d'EVP par an<sup>4</sup>, contre seulement 300 millions de conteneurs en 2005 (Cranic et Kim 2005), les ports cherchent à s'imposer en tant que centres de transbordement, dès lors, le trafic global demeure géopolitiquement concentré, les ports américains de Los Angeles et Long Beach, les ports Européens détenus principalement par Hamburg, Anvers et Rotterdam, les ports asiatiques (Coréen, Chinois, Japonais, Singapour) les ports méditerranéens (Valence, Barcelone, Algésiras, Gioia Tauro, récemment Tanger Med). Ces ports sont désormais des centres de transbordement, ils sont redevables de répondre à un ensemble de mesure de sûreté et sécurité, norme d'ISPS, comme ils doivent veiller au respect des normes de l'environnement<sup>5</sup>. (S. Swami, J. Shah, 2013).

La capacité du terminal dépend d'un nombre considérable de variables ce qui fait que l'analyse de la capacité de port demeure dynamique faisant interagir plusieurs éléments interdépendants et spontanés (Bichou et Gray, 2004), qui concernent les décisions stratégiques de l'opérateur maritime, qui tient compte de la localisation du terminal, de la longueur et du nombre de quais, de la profondeur de la mer, de la superficie de la zone intermédiaire sous les grues (apron area), de la superficie de la cour, de la nature des équipements verticales (grue de quai et de cour) et des équipements horizontales (transport interne du terminal), du système de transport choisi, de degré d'automatisation etc. chaque décision impact l'autre. (Vis et Koster 2003).

La capacité est un thème compliqué, la mission de faire ce genre d'analyse est confiée généralement à des consultants experts, les premières analyses se font de type statique basées sur les caractéristiques de la demande et du port lui-même, ces analyses peuvent être différentes avec l'exercice suite à l'influence des facteurs de performance, l'analyse est dite alors dynamique. La performance est imbriquée dans le processus du terminal, elle en dépend, la figure suivante présente un schéma typique du processus :

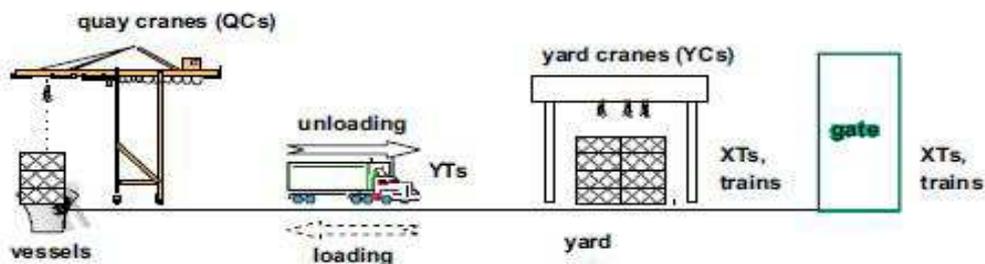


Figure 1 : Matthew E.H. Petering et Katta G. Murty (2008)

La performance début des opérations (cycle de chargement ou déchargement), la documentation est envoyée au terminal sous formes des EDI qui intègrent le système d'information exploitable à des fins de planification des opérations exécutables et suivi en temps réel, la documentation confirmable est renvoyée à la ligne maritime en fin des opérations,

<sup>3</sup>Centre d'Etudes Maritimes et Fluviales, République Française, 2010.

<sup>4</sup>Donnée de la banque mondiale sur le trafic mondial des conteneurs dans les ports de globe.

<sup>5</sup>S Swami and J Shah, Channel coordination in green supply chain management, Journal of the Operational Research Society 64, 336–351, (2013)

cette boucle s'étend du moment de l'arrivée d'un navire jusqu'à son départ. La performance renvoie aux concepts imbriqués tels que le nombre de *throughput* annuel (débit), la productivité des engins principalement celle de la grue de quai (point nodal de système de performance), le taux d'utilisations de la capacité quai, yard et gate, la durée d'exécution, la performance du système du transport interne (*prime route*) etc.

### 3 CADRE CONCEPTUEL ET METHODOLOGIE

Pour évaluer la performance du terminal, nous proposons d'appliquer le modèle analytique UNCTAD<sup>6</sup> 2012. Cette méthode empirique propose d'analyser la capacité du terminal en fonction d'un nombre de facteurs sous-jacents de la performance opérationnelle. Carle A. Thoresen<sup>7</sup> dans son principal ouvrage propose d'ores et déjà les critères de base de la performance à prendre en considération dans les modèles d'analyse de la capacité d'un terminal à conteneurs.

Il nous est apparu d'emblée que l'exploitation du modèle d'analyse de l'UNCTAD présente l'avantage de fournir un cadre d'évaluation de la performance du terminal. La capacité ne doit pas être perçue comme statique c'est-à-dire que le changement ne peut être introduit facilement qu'en moyen de lourde charge d'investissement, que son calcul se limite en avant-projet, elle est bel et bien dynamique et dépendante des facteurs de production (Dundović & Hess, 2005), par exemple le taux de rotation (*dwell time*) des conteneurs peut modifier largement la capacité (Filip Merckx, 2005), cette dernière reste évolutive, elle change dans le temps ! La capacité d'un terminal se réfère au système complexe, la méthodologie de système dynamique permet d'étudier les relations dans le système par l'approche cause effet (Forrester 1961, 1968 ; Senge 1990, Sterman 2000), exemple de modèle Causal Loop Diagram (Deepankar Sinha, 2012).

En effet, nous proposons d'évaluer la performance du port (terminal) par la capacité à l'aide des modèles de simulation développé par UNCTAD. Le concept composite de la capacité est une approche adaptée à l'activité portuaire, la structure du modèle est présentée en deux étapes : la simulation de quai et la simulation de yard. Le premier niveau agrège le nombre de facteurs propre aux processus d'opération dans la zone de quai, le second niveau agrège les facteurs de performance propre à la zone des activités au parc de stockage.

Les facteurs de performance s'appuient sur des variables d'action que le management exploite en vue de prendre des décisions, ils (facteurs) deviennent alors des indicateurs de performance. Selon Monfort (2011), la capacité peut être définie comme le débit (trafic) maximum que le port peut performer dans un scénario donné<sup>8</sup>. La capacité représente le meilleur ou le maximum niveau d'exploitation (*best operating level*) des installations portuaires (Gaither et al 2004). La capacité est définie comme (Chase et al 2004) : Niveau d'exploitation = Capacité utilisée / Niveau maximum d'exploitation. Le seuil de la capacité diffère suivant l'approche de mesure adoptée (Thoresen, Forrester, Sterman, Senge...). Le concept de la capacité a évolué dans le temps, il y a une extrémité d'indicateurs de performance pouvant interagir dans le concept de la capacité, les modèles UNCTAD ont évolué en fonction des développements de l'industrie portuaire et maritime.

Le modèle s'inscrit dans le cadre des approches empiriques, UNCTAD a développé le modèle de 1985 et il y a été considéré : le débit annuel, la productivité du terminal, le coût et la taille des installations portuaires et principalement la qualité du service. Le modèle de Frankel 1987 préconise l'importance des quatre principales considérations dans la capacité du terminal : la demande totale de conteneurs (débit), l'air requise, le système du transport adopté et le coût du système. Le modèle de Niswari 2005 assume que la capacité du terminal est déterminé par les mouvements du quai, basé sur le trafic annuel<sup>9</sup>. Les modèles des auteurs dans le cadre de l'UNCTAD proposent d'intégrer dans le modèle de simulation toutes les variables susceptibles d'influencer la capacité et de prendre ainsi en compte l'évolution du domaine des ports et terminaux à conteneur. Notre étude tente d'évaluer la performance du terminal par la mise en pratique des modèles analyse de la capacité, ces derniers seront appliqués sur notre cas d'étude : le port Tanger Med dans sa phase I.

---

<sup>6</sup>Ana, Soberón, the Capacity in Container Port Terminals, UNCTAD, 2012.

<sup>7</sup>Thoresen Carl A. "Port Designer Handbook: Recommendation and Guideline", Thomas Telford Publishing, pp. 304-333 2003, 2003,

<sup>8</sup>Monfort et al, Seaport Capacity Handbook: Application to Container Terminals, Valencia Foundation, 2012.

<sup>9</sup>K.Loke, A. Kader, A. Zamani, Conceptual framework for the evaluation of container terminal's expansion by marginal approach, The International Conference on Marine Technology, 2010.

### 3.1 INDICATEURS DE PERFORMANCE

#### DÉBIT ANNUEL (*THROUGHPUT*):

Le concept du débit annuel est le plus important dans la mesure où il détermine la performance globale du terminal, le volume est exprimé en mouvement comme en EVP (*Equivalent vingt pieds*), généralement il est subdivisé en plusieurs types de trafic (Import, Transbordement, Vide, Plein, Frigorifique, Dangereux...)

#### LE NIVEAU DE SERVICE :

Les lignes maritimes perçoivent la qualité de service en fonction de la somme à payer chaque fois que leurs navires séjournent au port (terminal), et de la durée d'escale. La qualité perçue est fonction décroissante du délai de service. Le niveau de service se calcule à partir du quotient suivant:

$$\text{Durée d'escale (T) / Volume par navire (Q)}$$

La durée d'escale est la somme des quatre variables temps suivantes :

- Durée d'attente (*anchorage*).
- Durée de pilotage (*pilot station and sailing time*).
- Durée des activités lamanage (*mooring and lashing*).
- Durée de service (*berthing time*).

#### TAUX D'UTILISATION DU QUAÏ (*BERTHING OCCUPANCY – BO*):

La longueur du navire et sa durée de séjour dans le terminal sont nécessaires au calcul du taux d'occupation du quai, la formule ci-après permet de déterminer le taux d'occupation:

$$\text{Taux d'utilisation} = \text{Somme (Longueur du navire x durée de service) / (Longueur du quai x 24 heures x chaque jours du mois)}$$

Le taux d'utilisation détermine le rapport de la capacité opérative du quai sur sa capacité théorique (physique) en mètre d'heures, le terminal ne peut se fier seulement à la variable temps pour déterminer l'occupation du quai mais également à la variable distance (des navires), il est aussi important de prendre en considération la marge entre navire.

#### TAUX D'UTILISATION DU PARC (*YARD OCCUPANCY*) :

Le taux d'utilisation de yard définit le pourcentage de la capacité réelle sur celle opérative, le terminal saura à travers à combien il est de sa pleine exploitation pour un débit donné.

### 3.2 MODELE DE SIMULATION DE LA CAPACITE DE QUAÏ (*BERTH CAPACITY*):

Le cadre mathématique du modèle bord de quai se présente ainsi :

$$\text{Berthing Capacity} = (\text{BO} \times \text{CI} \times \text{GCP} \times \text{Hrs} \times \text{TEU Factor})$$

- **Variable expliquée : Fonction objective de la capacité de quai:**

**BC** pour Berth Capacity représente la capacité du bord à quai.

- **Variables explicatives ou Contraintes :**

**BO** : *Berth Occupancy (utilization)* est le taux d'utilisation de quai.

**CI** : *Crane Intensity* représente en moyen le nombre de portique en service dans un navire donné.

**Hrs** : *Hours* se réfère au temps de service du terminal.

**GCP** : *Gross Crane Productivity* est le facteur d'excellence du port, c'est la productivité des portiques.

**Teu factor** : facteur équivalent vingt pieds, unité de mesure des conteneurs en 20 et 40 pieds.

La simulation de la capacité du quai doit nécessairement être complétée par la simulation de la capacité du parc, le volume de conteneurs accueilli du quai aurait à rester pour une période déterminée dans la cour du terminal.

### 3.3 MODELE DE SIMULATION DE LA CAPACITE DE YARD:

La capacité du terminal dépend largement des engins utilisés dans le parc, la configuration du yard y diffère largement suivant le système du transport interne.

#### CRENEAUX DE STOCKAGE (STORAGE SLOTS) :

Le cadre mathématique de l'analyse de la capacité de yard se présente ainsi :

**Teus visits** =  $TGS^* \times \text{Stacking density} \times \text{Stacking Height} \times 365 \text{ (jours)} / \text{Dwell time (jours)} \times \text{peak factor}$

**TGS** : *total ground slots*, les créneaux disponibles au niveau de terre-plein.

**Dwell time** : délais de séjour de conteneur.

**Stackingheight** : hauteur de la pile, combien de conteneur peut-on empiler en hauteur.

**Stackingdensity** : densité d'empilement des conteneurs

**Peaking factor** : facteur de crête permet de savoir le facteur de plus grand volume que le terminal peut réaliser.

La notion de facteur de crête est cruciale, afin de satisfaire au mieux les besoins des clients, la capacité doit se conformer à la saisonnalité mesuré par le facteur de crête (*peaking factor*) et non sur la demande moyenne, dans ce sens, la théorie de contrainte écrit par Goldratt & Fox dans leur ouvrage intitulé « le but » parte du principe que la capacité de la *supply chain* est gouvernée par le maillon le plus faible (goulot d'étranglement), la performance du système passe par la maîtrise du maillon critique (approche de chaîne critique), la surproduction dans certaines autres zones n'est pas souhaitable, il finira par un gâchis dû au goulot non maîtrisé, la théorie cherche à identifier la contrainte et de maîtriser les optimisations locales.

## 4 RESULTATS

Dans cette section, nous allons présenter les principaux résultats empiriques de l'analyse de la capacité et des principaux indicateurs de performance du terminal Tanger Med I.

### 4.1 PRÉSENTATION DU PORT TANGER MED

Le port Tanger Med est une plateforme logistique et multimodale ambitieuse, abritant entre autres terminaux et zones logistiques<sup>10</sup>, quatre terminaux à conteneurs, de dimension mondiale importante.

Le port jouit d'une situation géostratégique exceptionnelle, situé sur le détroit de Gibraltar, donnant une acuité de connectivité intercontinentale, au croisement des grandes routes maritimes et de commerce international, entre l'Europe de l'Ouest, l'Afrique de l'Ouest et de l'Est et l'Amérique du Nord, inséré dans l'état d'esprit de production en juste à temps.

En 2001, Le projet « Tanger Med » a vu le jour, après l'abandon du projet « Tanger Atlantique ». En 2002, la zone portuaire est confiée à l'agence spéciale (*Tangier Med Special Agency* de l'acronyme TMSA)<sup>11</sup>, l'enceinte portuaire comprend

---

<sup>10</sup> Le complexe portuaire Tanger Med comprend, outre l'autorité portuaire et les terminaux à conteneurs (Capacité ≈8 millions de conteneurs/an) : la gare maritime, le terminal roulier (RoRo et TIT : 700 000 camions/an) et passagers (7 millions de passagers/an), le terminal vrac et divers, le terminal à véhicule (1 millions de véhicules/an), le terminal hydrocarbure (5 millions de tonnes/an), la zone franche logistique "Medhub", des zones Offshoring, le Centre Tertiaire Intermodal (CTI).

<sup>11</sup> Texte portant création de Tanger Med (Décret loi n°22.02.644 du 10 Septembre 2002 publié au BO 5040 ; page 1001). La société Tanger Med (TMSA) est subventionnée via la fiscalité. Les articles 12 et 13 de loi stipulent que : Art. 12 : Sont exonérés des impôts d'Etat les revenus de la société liés aux activités qu'elle remplit au nom et pour le compte de l'Etat. Art. 13 : La Société est exonérée de la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) par l'ensemble de ses actes, activités ou opérations.

100 ha délimité par deux digues l'une principale de 2028 m, l'autre secondaire de 570 m, le terminal transbordement est de linéaire de 1600 m confié à deux principaux opérateurs APM Terminal (Maersk) et Eurogate Tanger SA en association avec CMA CGM et MSC pour une durée de concession de 30 ans pour les deux géants du « conteneur », la profondeur de quai est variable (-18 m, -16 m, -12 m). Il est à rappeler que la mise en opération ne s'est faite qu'en 2007 pour le premier terminal et 2008 pour le deuxième, l'activité effective n'est comptée qu'une année plus tard pour les deux terminaux, l'accès à l'hinterland passe par l'autoroute de 53 m et d'une voie ferrée de 45 m vers Tanger ville.

Par ailleurs, il est fort signalé que le projet ne manque pas de critique, certains experts de domaine de l'ingénierie navale et maritime évoquent « la brochette des erreurs » tels que l'incompatibilité de transbordement avec le trafic des passagers (constaté en 2004), la petitesse du bassin de 100 ha, le caractère non évolutif du projet Tanger Med I, l'erreur monumental d'adosser un poste pétrolier à l'extrémité de la jetée principale proche de la passe d'entrée du port, ces erreurs ont propulsés les responsables du projet à corriger par la séparation du projet de transbordement Tanger Med I du passager Tanger Med I bis et la mise en œuvre d'un troisième terminal transbordement Tanger Med II dédié à Marsa Maroc (faisant les choses à l'envers ne passe pas sans faute !), nous recommandons de lire l'article Conteneurs au Maroc de Najib Cherfaoui, ingénieur des ports et chaussées<sup>12</sup>.

#### 4.2 PERFORMANCE DU TERMINAL TANGER MED

Le trafic des conteneurs traité (Fig.2) à Tanger Med (Phase I) s'est amélioré d'une année à l'autre. Le trafic concerne majoritairement le transbordement dans l'Ouest de la Méditerranée, la bonne performance est due notamment aux principaux armateurs opérant à Tanger Med à savoir : Maersk Line, CMA-CGM/Delmas, Hamburg Sud, Hapag Lloyd., ARKAS, etc<sup>13</sup>.

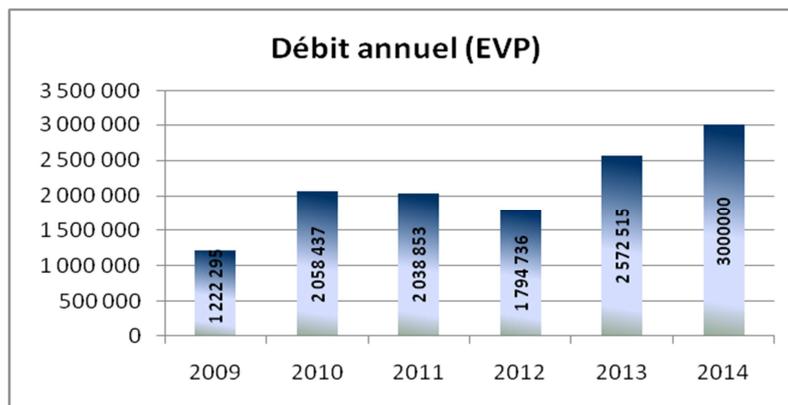


Figure 2 : Trafic des terminaux à conteneurs Tanger Med I

Source: Pour 2009-2011: "Containerisation International Yearbook", (2004~2012). Pour 2012, "Top 100 ports 2013 of Containerisation International". Pour 2013 et 2014, site web officiel de l'autorité portuaire : <http://www.tmpa.ma>

Dans l'industrie portuaire la performance d'un niveau de volume dit débit est envisagé dans une perspective de productivité du terminal, la productivité est contingente, imbriquée dans le processus global du terminal, la productivité du terminal concerne le rendement en nombre de mouvements par heure de la grue de quai, quand la grue de quai est performante c'est-à-dire qu'elle permet d'exécuter un nombre donné de mouvement en moindre temps, c'est que le terminal utilise à bon escient les équipements, ils sont alors efficace et efficient. Ce critère est très bien apprécié dans l'approche de satisfaction de client puisqu'il impacte explicitement le critère de *turnaround time*, temps de rotation de navire dans le port (terminal). A Tanger Med, les données recueillies de l'autorité portuaire sont nettement positives, la productivité

<sup>12</sup> Najib Cherfaoui, conteneurs au Maroc : De 1942 à 2060. *Maritime news*, 2014.

<sup>13</sup> [www.tmpa.ma](http://www.tmpa.ma)

peut atteindre peu ou prou 30 mouvements par heure<sup>14</sup>, un chiffre qui répond parfaitement au standard international en la matière.

Le management du terminal s'intéresse également au délai de séjour des conteneurs (sans confondre avec le délai de séjour du navire), c'est l'une des variables les plus fines et les plus sensibles de l'analyse de la capacité *Yard*, une baisse dans le délai de séjour par exemple engendre un effet inverse c'est-à-dire une augmentation surprenante dans la capacité du terminal, les *shipping lines* qui arrivent à réduire le délai de séjour des conteneurs au maximum bénéficieront des franchises appliquées généralement dans les contrats ce qui leur protègent des coûts de retard et surestaries.

Le niveau de service détermine la qualité du service perçu par les clients « *shipping lines* » ou tout autre utilisateur, il est considéré de deux façons :

- Par le montant total à payer chaque fois que le navire héberge le terminal ;
- Par la durée d'escale et le nombre des conteneurs à exécuter ; (voir ci-dessous).

---


$$L_{sv} = T/Q$$


---

$$T = Tr + Tm + Ts$$

$$T/Q = 1/Q \times (Tr + Tm + Ts)$$

We don't consider Tm, so as Tm = 0, then,

$$T/Q = 1/Q \times (Tr + Ts)$$

$$\text{so } T/Q = Ts/Q \times (1 + (Tr/Ts))$$

$$\varepsilon = Tr/Ts \text{ \& } P = Q/Ts$$

with:

$L_{sv}$	Level of service
T	Call duration
Q	Parcel size per vessel
Tr	Mooring (inc.lashing) time
Tm	Manoeuvring time
Ts	Service time (exl. mooring)
P	Vessel Productivity
$\varepsilon$	Relative waiting time

Notre application montre un niveau de service qui varie de 0,08 à 0,10 qui correspond au niveau de qualité AB selon la matrice de Monfort. Hormis le critère financier, les résultats se montrent satisfaisants quant à ce critère de qualité (temps d'hébergement et débit).

### 4.3 MODÈLE DE SIMULATION DE QUAI

Actuellement l'information pertinente est un aspect important du succès d'un travail, se procurer des données est tout de même une affaire corsée, pourtant de fil en aiguille, lorsqu'en se les procurant, leurs explorations à des fins d'aide à la décision est tout bonnement fabuleux.

#### 4.3.1 DONNÉES ET HYPOTHÈSE DU MODÈLE

Nous avons collecté les données nécessaires à partir de différentes sources : communiqué de presse, journaux et internet. La compilation de ces données qui sont à la base diffusées au large public est très utile à la recherche scientifique :

- Temps de service de navire

<b>Vessel Turnaround time (T)</b>	16
<b>Calls (C)</b>	2000

**Figure 4 : temps de service du navire au port Tanger Med, source : internet**

Un changement au niveau des données de base devraient fluctuer davantage les variables ci-dessus. Le *turnaround* time (T) est un sérieux indicateur de performance, la satisfaction des clients dépende de cet indicateur. Un temps rapide de *turnaround* des navires à des conséquences positives sur la perception de la qualité, il indique que le port ne souffre pas de

<sup>14</sup>www.tmpa.ma

congestion qui peut causer des ruptures au niveau de la chaîne globale, ce taux de rotation de navire est très significatif également pour le management du port puisque l'effort consenti en matière de sa diminution engage tout le processus de production du port et terminal à conteneurs.

- Capacité physique (mètre d'heure) :

La capacité du quai terminal dépend de sa capacité physique et opérative, dans notre modèle la capacité théorique pour le terminal Tanger Med est de :

<b>Berth lenght/terminal (meter)</b>	1 600
<b>M.hrsCapacity (Year) (meter hour)</b>	*14 016 000
<i>*1600m x 365j x 24h</i>	

La capacité opérationnelle est reprise du total des mètres heures pour chaque navire, cette donnée peut être estimée de :

- Capacité opérative (mètre heure):

<b>Vessel lenght (estimé) (L)</b>	300
<b>M.hrsCapacity (Year)</b>	*9600 000
<i>*2000 (C) x 16(T) x 300(L)</i>	

Le taux d'utilisation correspond au ratio : Cap Op/Cap Th.

- Taux d'utilisation (%)

**Sum(Vessel Lenght x Berthing Time) / (Berth Lenght x 24 hours x every days of the month)**

<b>Per Meter Hours</b>	*68%
<i>*9 600 000/14 016 000</i>	

**4.3.2 SIMULATION QUAI (EN EVP)**

En appliquant le modèle de simulation en fonction des données et résultats obtenus de la capacité et de l'occupation du quai, nous obtenons :

<b>Data</b>		
Lenght	1600	Meter
Turnaround	16	Hour
Vessel lenght	300	Meter
Moves per hr	30	Meter/Hour
Crane Intensity	3,2	Number
Service hr	24	Hour
Teu factor	1,5	Ratio
Calls	2000	Number
Th Cap	14016000	Meter Hour
Op Cap	9600000	Meter Hour
Berth Utiliz	68%	Percentage

*Figure 5 : Indicateur de performance pour le calcul de la capacité du quai en EVP.*

Simulation		
Berth Cap	2 367,12	Teu/Day
Berth Cap	864 000,00	Teu/Year
Quay nbr	4,00	Number
<b>Teu visit quay cap</b>	<b>3 456 000,00</b>	<b>Throughput</b>

Figure 6 : résultat de simulation de la capacité de quai (en fonction des variables du terminal Tanger Med I)

Les résultats s'applique à un seul poste, l'installation portuaire est convenable pour 2 postes dans chaque terminal, le deuxième terminal est proche de la roche montagneuse, la profondeur y est très bas, la possibilité pour l'utilisation d'un 5<sup>ème</sup> poste y est compatible à très faible taux d'opération, il est généralement dédié aux petits navires (*feeders*). A quatre postes, le résultat final est multiplié à quatre, la capacité étant alors de 1,5 million chaque terminal, ce résultat demeure relatif, la nature commerciale de chaque port diffère, la capacité étant un peu en faveur du premier terminal, 3 millions EVP correspond à 2 millions mouvements, cette capacité nécessite 16 portiques dispersés sur la linéaire de quai, selon les normes un portique sur 100 mètres de linéaire, donc 2000 mouvements par mètre par an. Les résultats montrent que le terminal Tanger Med peut dépasser la capacité nominale déterminé initialement par les responsables du projet, le résultat est prouvé d'or et déjà puisqu'au moment de notre écriture de cet article, le terminal a battu le record en franchissant la barre de 3.000.000 EVP<sup>15</sup>.

#### 4.4 MODELE DE SIMULATION DE LA CAPACITE DE YARD

La zone *yard* est dédié au stockage de conteneurs dont certains espaces réservés pour l'administration, cantine, ateliers de maintenance, guérite pour camions, parking, voies de circulations etc. En termes de chiffre Tanger Med s'étend sur 80 hectares dont seulement la moitié reste réservé à l'empilement (agencement) des conteneurs. La formule du modèle étant :  $V_{\text{teu}} = (TGS \times H \times D \times 365j) / (Pf \times Td)$ , dont :

$V_{\text{teu}}$  : Teus visits

TGS : Total ground slot = bays x rows

H : Height ;

D : Density;

Pf : Peaking factor;

Td : Dwell time;

- Application:

Le terre-plein des deux terminaux de Tanger Med comprend plus ou moins 2000 fenêtres de 7 rangs disposés au front de mer, soit un Total ground slots de 14000 cellules, avec une capacité de gerbage à hauteur de 5 étages, on parvient à peu près à une capacité maximale physique de 70000 cellules EVP (slot teus), si on considère un taux d'occupation (densité) de 80% due à des raisons d'ordre opérationnel (sécurité, confort de manipulation, visibilité du conducteur etc.), la capacité stabilise autour de 56000 cellules. Seuil à ne pas franchir sous peine d'entraver la dynamique des flux en amont et en aval<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> <http://www.tmpa.ma/le-port-tanger-med-depasse-sa-capacite-maximale-et-bat-un-nouveau-record-il-franchit-la-barre-des-3-millions-de-conteneurs-evp-en-2014/>

<sup>16</sup> Najib Cherfaoui, conteneurs au Maroc : De 1942 à 2060. *Maritime news*, 2014.

<b>Data</b>	
Bays	2000
Row	7
Height	5
<b>Yard Cap</b>	
TGS	14000
Phy. Cap	70000
Density	0,8
Slots Operational	56000

**Figure 7 : Capacité physique et opérationnelle de terre-pleins de Tanger Med**

Pour calculer la capacité annuelle, il faut considérer dans un premier temps cette capacité dans chaque jour soit (numérateur de la formule de simulation), mais puisque le conteneur séjourne dans le terminal pour une certaine période en jours et qu'il faut intégrer le facteur de crête qui correspond à la saisonnalité (dénominateur de la formule), la capacité maximale est alors différente selon principalement ce délai de séjour, le tableau suivant figure la simulation suivant la variation de délai de séjour :

Délai de séjours	Simulation teu Visits	Simulation Cntr Visits
4	4258333	2838889
5	3406667	2271111
6	2838889	1892593
7	2433333	1622222
8	2129167	1419444

Avec numérateur de la formule :  $56000 \times 365$  ; dénominateur de la formule :  $\text{délai de séjour (variable)} \times \text{peaking factor } 1,2$ .

**Figure 8 : Simulation de la capacité en nombre de conteneurs evp**

Les résultats de la simulation montrent que la capacité est intimement liée à la variation de délai de séjour, ce dernier est cependant différents en chaque catégorie de conteneurs, les frigorifiques hébergent dans le yard pour une durée très rapide en moyen de 3 jours, les vides hébergent pour une longue durée plus ou moins dépassant une dizaine de jours, les pleins domestiquent pour une durée de plus ou moins 5 à 7 jours et ainsi de suite.

## 5 DISCUSSION

Dans cet article, nous avons simulé la performance du terminal à conteneur, à travers trois principales rubriques :

- i. Indicateurs clé de performance dans un terminal à conteneur ;
- ii. Modèle de simulation de la capacité de quai ;
- iii. Modèle de la simulation de la capacité de yard ;

En regard du point i, les indicateurs de performances tels que le trafic annuel, nombre d'escales, productivité de portique et délais de séjour sont protagonistes dans l'évaluation de la performance, d'une part ils permettent de positionner le terminal par rapport à ces concurrents, d'autre part ils présentent des outils de base d'aide à la décision.

Le trafic annuel est exprimé en unité de mesure équivalent vingt pieds qui peut être traduite en nombre de boites mouvementés en raison de facteur EVP, le trafic ou *throughput* dépend des facteurs exogènes à notre analyse tels que la localisation du terminal, profondeur du quai et de conditions économiques et territoriales mais il dépende également de la capacité du quai, du yard, de productivité des grues de quai etc. ce sont des variables endogènes à notre analyse. Le trafic à Tanger Med s'est augmenté vertigineusement, il commence à franchir désormais le seuil de la capacité du terminal, les exploitants d'or et déjà pensent au projet d'expansion du terminal.

Notre expérimentation montre qu'un nombre plus élevé d'escales n'accroît pas forcément le volume de trafic, plusieurs articulations s'ajoutent à l'analyse de la performance : le type du navire par exemple peut impacter davantage le trafic annuel, le terminal peut réaliser moins de mouvements avec un nombre plus élevé d'escales, et vice versa, bien que cela reste dépendant des caractéristiques dont jouit chaque terminal, notamment en termes de profondeur. L'obliquité du bassin à Tanger Med I depuis coté montagne oblige l'exploitant du terminal dans ce cas TC2 d'allouer indéniablement certains

postes du quai aux nourriciers dont le tirant d'eau est réduit et de préserver les autres postes de quai qui profitent d'une meilleure profondeur aux navires mères, par ailleurs TC1 est mieux positionné géographiquement, son bassin lui offre une situation plus confortable pour accueillir plus des navires mères que nourriciers et qui génèrent éventuellement plus de trafic en moins d'escales.

La productivité de la grue de quai représente la colonne vertébrale du système de la performance d'un Terminal à Conteneur, elle est imbriquée dans le processus logistique des ports à conteneurs, une mauvaise productivité engendre des contre-performances qui incitent à s'interroger sur les optimisations dont il faut y procéder c'est-à-dire au niveau maintenance (préventive et curative), opération (maîtrise des process et cycles de manutention, turn-over...) et de personnel (gestion des compétences, formation et polyvalence...). La productivité au port Tanger Med I varie du quai 1 à quai 2, il est plutôt supérieur en TC1 qu'en TC2, pourtant cela ne veut pas dire que l'un est meilleur que l'autre puisque le service, l'enjeu et les variables sont nettement différents l'un l'autre.

En regard du point ii, au premier abord, nous avons mis en relief les variables qui entrent en jeu dans la détermination d'occupation du quai, l'unité de mesure mètre d'heure reliant distance et temps, traduit véritablement la capacité du quai, un navire séjourne en un certain temps et occupe une certaine distance métrique dans le quai. L'enchaînement des activités des vaisseaux est fondamental, les paramètres temps sont enregistrés dans des bases de données, ils sont reproduites dans les analyses et interprétations.

En deuxième abord, nous avons appliqué la simulation de la capacité de quai sur notre expérimentation. Bien que la simulation s'appuie sur des valeurs estimées ou simulées, dans notre cas nous l'avons appliqué en fonction des valeurs déterminés à partir de l'exercice de ces terminaux, cela nous a permis d'identifier au travers de la formule de simulation la capacité actuelle du terminal, la capacité n'est pas statique, elle n'existe pas en tant que telle, elle est contingente et variable, elle varie en fonction d'un nombre considérable de facteurs et variables. Il est toutefois très important de souligner que notre simulation s'appuie sur des indicateurs de performance attachés à des variables d'action c'est-à-dire qui permettent à l'entreprise de réagir dans l'immédiat. On reconnaît la capacité du quai à travers le service de la grue de quai (mouvements moyen par heure ou *GCP*), l'occupation de quai (qui se base sur les temps des activités de navire), le service du terminal, le facteur EVP. Les terminaux peuvent ainsi réagir dans l'immédiat au niveau des ressources dont ils disposent afin de hausser les cadences, éviter les congestions ou surmonter des obstacles bref atteindre les objectifs. Par exemple le terminal peut augmenter la productivité de grue (indicateurs de performance) en baissant le temps de service de navire (variable d'action) par des actions telles que mettre en œuvre des plans de formation et/ou de polyvalence, augmenter l'effectif (recrutement), amoindrir le temps de réparation des pannes des engins, réduire les incidences de sinistre, améliorer les process logistiques pour servir à bon escient les portiques etc. Les variables de la simulation aideront à la création des tableaux de bord qui serviront à la prise des décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles. En effet, lorsqu'on a pu savoir la capacité du quai pour un poste, il nous a suffi de déterminer le nombre de poste dans le terminal pour déterminer la capacité annuel au long du quai. On peut constater que le résultat de la simulation est plutôt supérieur par rapport au trafic réalisé réellement, ceci reste logique puisque dans la simulation nous avons utilisé les meilleurs scénarios des valeurs moyennes de productivité, d'occupation, d'intensité et de facteur EVP.

En troisième abord, nous avons mis l'accent sur la qualité de service en tant qu'indicateur de performance qui diminue et augmente en fonction des variables d'action. Son identification en tant que facteur lié aux process pourrait permettre au terminal d'intervenir par la mise en place des plans d'optimisation en agissant sur ses variables d'action, celles des différentes durées des activités de service de navire et des quantités de travail attribué. Cependant, il en résultait remarquable que le niveau de service dans notre expérimentation selon la matrice de Monfort est similaire dans les deux terminaux et ce malgré les divergences en termes d'objectif de productivité ce qui corrobore nos dires précédents, les facteurs de contingences se différencient largement en dépit des apparences de similitude.

Finalement en regard du point iii, le modèle de simulation du parc est attaché au modèle de quai, le nombre de conteneur simulé à accueillir depuis les vaisseaux auront à rester pendant une période stocké dans le parc avant de repartir vers une nouvelle destination suivant qu'ils soient à transborder vers un autre navire ou à franchir la guérite du terminal (Import/Export). Le *dwell time* sert au linkage, il correspond à la durée de stockage du conteneur dans le parc, les conteneurs transbordement séjournent en moyenne entre 5 et 15 jours, les imports et exports (pleins) ne restent stocké que pour une période plus restreinte d'une à 4 journées, les frigos encore moins, généralement les contrats qui lient l'armateur maritime au terminal prévoient des clauses pour la franchise, si le conteneur respecte la durée prescrite dans le contrat aucun tarif de stockage ne serait-ce appliqué sauf le tarif de mouvement s'applique !

Toutefois, la compréhension du principe *Total Ground Slots* (TGS) est primordial, l'unité de mesure est le *slot*, un slot correspond à l'équivalent 20' (EVP), le facteur EVP 1,5 signifie que le nombre des conteneurs 20' étant égale au nombre des 40', la capacité est à priori figée c'est-à-dire elle dépend du TGS qui correspond au nombre de slots en terre-plein multiplié

à la hauteur de la pile on obtient la capacité physique du terminal et en tenant compte des restrictions opérationnelles on obtient la capacité opérative, alors que la capacité réelle dépende du nombre de conteneur stocké dans le parc ainsi que de délai de stockage, ce dernier fait varier amplement la capacité yard. Le modèle commence par calculer la capacité théorique et opérative, abstraction faite de délais de séjour, puis il intègre le *dwell time* et le facteur de crête en tant qu'ajusteur vu qu'il existe des moments de pic on obtient de la division le taux d'occupation du quai, si ce taux est réduit pour un trafic élevé, c'est-à-dire que le yard est visiblement un peu vide et que le flux est élevé alors le process est bien amélioré, le planning fait un bon travail, contrairement si le yard est plein, le département opération et planning doivent trouver des solutions afin d'éviter les congestions qui peuvent causer du retard aux vaisseaux du coté quai ce qui peut nuire à la qualité de service et donc un mécontentement des *shipping lines* puisque cela peut leur créer des problèmes vis-à-vis de la chaînes de distribution globale et au consommateur final.

## REFERENCES

- [1] Alain Chambreuil, Productivité des terminaux a conteneurs, Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales CETMEF. France. Juillet 2011.
- [2] Ana. Martin Soberón. The capacity in container port terminals. UNCTAD. Ad Hoc Expert Meeting on Assessing Port Performance. Palais des Nations Geneva, Switzerland. December 2012.
- [3] Astrini Niswari. Container terminal expansion to build capacity: a case study. Master thesis. Erasmus Universiteit. Faculteit der Economische Wetenschappen. Rotterdam Netherlands 2005.
- [4] ByungJoo Park. Hyung Rim Choi. Development of operation strategy to improve the efficiency for twin automated transfer crane in an automated container terminal. Department of MIS. Dong-A University. Busan. Korea 2007.
- [5] Chuan yu Chen. Wen-Jing Hsu. Shell-Ying Huang. Simulation and optimization of container yard operations: a survey. Center for Advanced Information Systems. School of Computer Engineering. Nanyang Technological University. Singapore 2000.
- [6] Deepankar Sinha. Container yard capacity planning: a causal approach. Indian Institute of Foreign Trade. W.P. No: LD-11-04. April 2011.
- [7] FilipMerckx. The Issue of dwell time charges to optimize container terminal capacity. IAME 2005 Annual Conference 23-25 June 2005. Limassol, Cyprus 2005.
- [8] Fischer A. Les ports maritimes. Essai de classification. In: L'information géographique. Volume 27 n°3. pp. 105-114. 1963.
- [9] Glen Koyama et al. Berth and container yard capacity analysis. Department of Transportation. Harbors Division. April 2012.
- [10] Hong-Oanh Nguyen. Port competition: The chain approach. First international workshop on port economics. December 5-6. Singapore. 2012.
- [11] Mallidis-Dekker-Iakovou-Vlachos-Tsitsamis. Yard management for improving the efficiency of a container terminal. 181-188. Department of Industrial Engineering. Aristotle University of Thessaloniki. MIBES 2009.
- [12] Julien Dubreuil. La logistique des terminaux portuaires de conteneurs. CIRRELT 2008-38. Québec. Canada. Août 2008.
- [13] K.B.Loke. A.S.A.Kader and A.M.Zamani. Conceptual framework for the evaluation of container terminal's expansion by marginal approach. The International Conference on Marine Technology 11-12. BUET. Dhaka, Bangladesh. December 2010.
- [14] Matthew E.H. Petering, Katta G. Murty, Effect of Block Length and yard crane deployment Systems on overall performance at a Seaport Container Transshipment Terminal, 2008.
- [15] M. Kia. E.Shayan. F.Ghotb. Investigation of port capacity under new approach by computer simulation. Computer & Industrial, Engineerings 42 (2002) 533-540. Elsevier Science Ltd. Melbourne. Australia. 2002.
- [16] M. P. M. Hendriks. E. Lefeber. J. T. Udding. Simultaneous berth allocation and yard planning at tactical level. OR Spectrum 35:441-456. Springer-Verlag. Eindhoven, Netherlands. 2013.
- [17] M.P. van Putten. Improving yard deployment efficiency at APM Terminals Rotterdam. Technische Universiteit.Eindhoven. August 2005.
- [18] Nam Kyu Park, BranislavDragović, A case study of container terminal, FME Transactions, Vol. 37, No 4, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 2009.
- [19] Neale R. Smith, Rosa, G. González-Ramírez, Pablo Miranda González. An optimization model for the yard allocation problem in a container terminal, 2012.
- [20] Nima Sharif Mohseni. Developing a tool for designing a container Terminal Yard. Master Thesis. Delft University of Technology. RHMD. Netherlands. November 2011.
- [21] Qianwen Liu. Efficiency analysis of container ports and terminals. Phd thesis. Centre for Transport Studies. Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering. University College. London 2010.