



## **Modélisation continue de l'accostage des navires pour le calcul de la capacité des quais. Application aux grands terminaux à containers espagnols**

**Roser OBRER-MARCO<sup>1</sup>, José AGUILAR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, Camino de Vera s/n, 46.022 Valencia, Espagne.

*roobmar@gmail.com*

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, Camino de Vera s/n, 46.022 Valencia, Espagne.

*jaguilar@upv.es*

### **Résumé :**

Le Système Portuaire Espagnol (SPE) est composé de 46 ports d'intérêt général, gérés par 28 Autorités Portuaires. Les relations entre ces autorités portuaires sont de nature concurrentielle, ce qui fait de la planification un outil indispensable pour qu'elles soient compétitives. Grâce à la planification les gérants des ports sont capables d'ajuster la capacité et les conditions physiques des infrastructures portuaires aux prévisions de croissance du trafic.

Il est essentiel que les départements de planification des Autorités Portuaires espagnoles disposent d'un outil qui soit capable d'estimer la capacité des infrastructures, et plus précisément des quais. Jusqu'à présent, le plus courant pour estimer cette capacité a été d'appliquer une formulation qui assume un nombre déterminé de postes d'accostage, tous identiques: formulation discrète. Néanmoins, l'exploitation des quais des terminaux à containers est faite de manière continue. Pour cette raison, il faut faire un pas en avant et utiliser une formulation qui reflète l'exploitation réelle des quais: formulation continue.

Dans cette étude on présente une formulation continue et on la compare avec celle discrète, en faisant voir les erreurs possibles qui peuvent être commises en supposant que le quai est composé d'un ensemble de postes d'accostage identiques. Pour cela, on a appliqué les deux formulations au terminal à containers MSC Terminal Valencia, S.A. du port de Valencia (Espagne) avant et après avoir été élargi en 2010.

### **Mots-clés :**

Capacité de terminaux – Containers – Quais – Simulation

## **1. Introduction**

La capacité d'un quai est le trafic limite qui peut être admis par le quai pendant une période de temps, normalement un an. Jusqu'à maintenant et pour les terminaux à containers, la formulation employée pour estimer le trafic considère que les quais sont composés d'un nombre constant de postes d'accostage identiques. Une formulation possible et couramment utilisée est la suivante:

$$T = N \cdot \rho \cdot P \cdot H_{an} \quad (1)$$

où :

$T$  = le trafic annuel du quai (EVP/an ou mouvements/an)

$N$  = le nombre de postes d'accostage (en fonction de la longueur des navires,  $N$  peut être un nombre décimal)

$\rho$  = le taux d'occupation du quai (ou d'un poste d'accostage puisqu'ils coïncident)

$P$  = la productivité du poste d'accostage (EVP/h ou mouvements/h)

$H_{an}$  = heures opératives du terminal par an (h/an)

Dans cette formulation il y a implicitement un niveau de service offert à la compagnie maritime. Quand ce niveau reste fixé à une situation limite admissible, le trafic donné par la formulation équivaut à la capacité. Pour les compagnies maritimes, la qualité du service, en termes de capacité, réside dans un temps d'escale réduit en proportion du nombre de containers à manipuler. Pour cela il faut une productivité du poste d'accostage élevée et des attentes au mouillage (motivées par la congestion) réduites. Il est raisonnable que ces attentes soient estimées proportionnellement à la durée de service. La relation entre la moyenne de ces deux variables est connue comme l'attente relative ( $\varepsilon_r$ ). En fixant  $N$ , la fonction de répartition des arrivées des navires au terminal, et la fonction de répartition de la durée du service au poste d'accostage, on peut connaître la relation entre  $\varepsilon_r$  et  $\rho$  grâce à la théorie des files d'attente ou grâce à la simulation. Une fois que la relation entre les deux variables est connue, il ne reste qu'à établir une valeur maximum de  $\varepsilon_r$  pour connaître  $\rho$ . Pour les terminaux à containers une valeur de  $\varepsilon_r$  supérieur à 0,1 n'est pas recommandée (AGERSCHOU, 2004).

Toutefois, dans la réalité, les quais des grands terminaux à containers ne sont pas exploités de manière discrète, mais de manière continue, et par conséquent la formulation antérieure implique une translation conceptuelle du quai: d'une ligne continue à un numéro de postes d'accostage. Ce dernier peut être obtenu en divisant la longueur du quai par la longueur moyenne des navires. Cette translation peut supposer des erreurs dans l'estimation de la capacité.

Le principal objectif de cette communication est de présenter comment l'estimation de la capacité d'un quai peut changer quand celui est modélisé comme un nombre déterminé de postes d'accostage ou, au contraire, comme une ligne continue. Le cas étudié pour illustrer cet objectif est celui de MSC Terminal Valencia, S.A. (MSCTV).

Le terminal MSCTV a commencé ses opérations au port de Valencia en 2007, et des 656 m opératifs initiaux, en 2010 il est passé à 756 m. Dans les terminaux de containers du SPE les fonctions de répartition des arrivées des navires sont exponentielles et celles des durées de service sont Erlang K, où  $K \in [4,7]$  (AGUILAR & OBRER-MARCO, 2009). Au terminal MSCTV, K est égal à 5 et la longueur moyenne des porte-containers est d'environ 225 m.

## 2. Méthodologie

La capacité d'un quai conceptuellement exploité de manière continue peut être obtenue grâce à l'expression suivante:

$$T = L \cdot \rho_L \cdot P_L \cdot H_{an} \quad (2)$$

où :

$T$  = le trafic annuel du quai (EVP/année ou mouvements/an)

$L$  = la longueur du quai (m)

$\rho_L$  = le taux d'occupation du quai exploité de manière continue

$P_L$  = la productivité du quai (EVP/(h·m) ou mouvements/(h·m))

$H_{an}$  = les heures opératives du terminal par an (h)

Afin de connaître  $\rho_L$  un programme de simulation a été développé. Il fournit la relation  $\varepsilon_r - \rho_L$  à partir des données du terminal et des navires qui y font escale.

La relation  $\varepsilon_r - \rho$  (discrète) se calcule indépendamment de sa longueur dans le poste. Au contraire, la relation  $\varepsilon_r - \rho_L$  (continue) prend uniquement en compte les mètres occupés par le navire et une marge de sécurité (10% de la longueur), en d'autres termes,  $\rho_L$  s'agit d'un rapport entre des mètres-heures occupés et des mètres-heures totaux. Par conséquent, il y a une différence essentielle entre le calcul de  $\rho$  et  $\rho_L$ .

Pour mener l'objectif à bien, la capacité a été calculée selon quatre scénarios différents. Les deux premiers correspondent au quai de MSCTV avant son allongement et les deux derniers après. Les quatre scénarios sont : 1) quai de 656 m exploité de manière discrète; 2) quai de 656 m exploité de manière continue; 3) quai de 756 m exploité de manière discrète; 4) quai de 756 m exploité de manière continue. Dans tous les scénarios, la longueur des navires ( $L_{navires}$ ) est de 225 m.

Pour les scénarios 1 et 3, la productivité supposée par grue est de 23 mouvements à l'heure. En supposant deux grues par navire et des escales de 24h, dont 3h improductives, P atteint la valeur de 60,375 EVPs/(h·poste) (EVP/mouvement = 1,5).

Pour les scénarios 2 et 4,  $P_L$  a été calculée comme P fois le nombre de postes d'accostage équivalents au quai divisé par L.

## 4. Résultats

Les résultats de la capacité pour chacun des quatre scénarios proposés sont montrés dans le tableau 1.

*Tableau 1. Résultats.*

	<b>Scénario 1</b>	<b>Scénario 2</b>	<b>Scénario 3</b>	<b>Scénario 4</b>
<i>Formulation</i>	<i>Discrète</i>	<i>Continue</i>	<i>Discrète</i>	<i>Continue</i>
<i>L (m)</i>	656	656	756	756
<i>L<sub>navires</sub> (m)</i>	225	225	225	225
<i>N</i>	2,65	2,65	3,05	3,05
<i><math>\rho</math> ou <math>\rho_L</math></i>	0,453	0,275	0,504	0,494
<i>P(EVP/(h·poste)) ou P<sub>L</sub> (EVP/(h·m))</i>	60,38	0,24	60,38	0,24
<i>H<sub>an</sub> (h)</i>	360·24	360·24	360·24	360·24
<b>Capacité (EVP/an)</b>	<b>626.062</b>	<b>379.978</b>	<b>802.379</b>	<b>786.346</b>

*Les nombres en gris n'ont pas été utilisés directement pour calculer la capacité du scénario correspondant, mais ils sont vitaux afin de mieux comprendre les conclusions.*

## **5. Conclusions**

En comparant les résultats des scénarios 1 et 2, il apparaît que l'estimation de la capacité peut grandement différer selon la formulation utilisée. La variable responsable de cette différence est le taux d'occupation. L'explication réside dans la proportion entre  $L$  et  $L_{navires}$ , qui fait qu'une partie du quai est inoccupée en permanence (partie décimale de  $N$ , ici 0,65). Plus la partie décimale est grande, plus l'espace inoccupé augmente. Ce fait est seulement considéré lors de l'application d'une formulation continue, et donc,  $\rho_L$  est très inférieur à  $\rho$ .

On constate entre les scénarios 2 et 4, qu'en allongeant le quai la proportion entre  $L$  et  $L_{navires}$  (notée  $N$  dans la formulation discrète) n'est pas si défavorable. En effet, la partie du quai non utilisée dans le 4 (partie décimale de  $N$  égal à 0,05) est inférieure à celle du 2. Cela se traduit par une valeur très supérieure de  $\rho_L$ , qui tend vers la valeur de  $\rho$  du 3, d'où le fait que la différence de capacité entre les scénarios 3 et 4 soit très réduite.

De ce qui précède, la principale conclusion est que selon la proportion entre  $L$  et  $L_{navires}$  l'application d'une formulation discrète peut surestimer la capacité des quais. Par conséquent, lors de la planification des terminaux, il est très important de connaître la longueur des navires qui vont y faire escale et d'utiliser une formulation continue de la capacité, pour ce faire des outils de simulation sont indispensables.

## **6. Références bibliographiques**

- AGERSCHOU H. (2004). *Chapter1 : Facilities Requirements. Planning and design of ports and marine terminals*. Thomas Telford, 446 p.
- AGUILAR J., OBRER-MARCO R. (2009). *Consideraciones sobre la oferta y la demanda del servicio de atraque, en relación con la capacidad de las terminales de contenedores*. X Jornadas Españolas de Costas y Puertos, Santander, pp 769–778.