

# Système intégré de manutention de conteneurs dans un terminal maritime

Luis Angel Ipenza Marín<sup>1</sup>, Aziz Moukrim<sup>1</sup>, Mehdi Serairi<sup>1</sup>

Université de Technologie de Compiègne; HeuDiaSyC, CNRS UMR 6599; BP 20529, 60205 Compiègne,  
France  
{luis.ipenza,aziz.moukrim,mehdi.serairi}@hds.utc.fr

**Mots-Clés :** *Borne inférieure, Algorithme mémétique, AGV.*

## 1 Introduction

L'échange des conteneurs ne cesse d'évoluer depuis leur apparition. Le parc mondial progresse annuellement de 11 %. En parallèle à leur apparition, les ports maritimes ont connu de grands développements des techniques de manutention. Le présent travail est réalisé dans le cadre du projet ANR STEP dans le but de réaliser un système intégré de manutention de conteneurs dans un terminal maritime.

Un port maritime est composé de deux zones principales, le quai qui contient plusieurs postes d'amarrage, où les bateaux peuvent être chargés et/ou déchargés à l'aide des portiques de quai (QC), et un terminal à conteneurs (TC) où le déplacement des conteneurs est réalisé à l'aide des grues de parc (YC). Le transport des conteneurs du quai vers le TC et vice versa est réalisé à l'aide des véhicules guidés automatiquement (AGV).

## 2 Présentation du problème

Le problème consiste à trouver un ordonnancement de  $n$  conteneurs à charger ou à décharger. Une première étape consiste à enlever les conteneurs par les QCs ou les YCs. La deuxième étape revient à les acheminer vers le TC ou les bateaux. Enfin une troisième étape consiste à les placer dans la zone appropriée par un certain nombre de YCs et QCs. L'objectif est de minimiser le temps de fin en respectant des contraintes de précédence entre les conteneurs. Le problème revient à un *flow shop hybride* à trois étages avec blocage et contraintes de précédence, où les machines sont les QCs, YCs et les AGVs. Dans chaque étape un conteneur  $i, i = 1..n$  peut être traité par un sous ensemble de machines et est caractérisé par un temps d'exécution  $p_{ij}; j = 1..3$ . Dans le cas où le conteneur  $i$  est précédé par un autre conteneur  $k$  un temps d'installation  $s_{ki}$  est nécessaire avant le début de l'exécution de  $i$ .

Peu de travaux ont traité le système intégré des équipements de port maritime pour la manutention des conteneurs. Meersmans [2] et Zeng et Yang [3] ont étudié le cas des conteneurs à charger ou à décharger alors que Chen et al [1] ont considéré les deux sens à la fois.

### 3 Nouvelle formulation et bornes inférieures

Nous présentons une nouvelle formulation mathématique ayant la particularité d'avoir un nombre de variables réduit par rapport à celle décrite par Chen et al.[1]. La nouvelle formulation est basée sur seulement deux types de variables binaires indiquant si le conteneur :

- doit être exécuté sur une machine donnée ou non,
- doit précéder directement un autre conteneur ou non (peu importe la machine).

Les bornes inférieures consistent à considérer une seule étape en relâchant les deux restantes : les problèmes obtenus sont  $P|s_{ij}, q_i|Cmax$  ;  $P|r_i, s_{ij}, q_i|Cmax$  et  $P|r_i, s_{ij}|Cmax$  en considérant respectivement la première, la deuxième et la troisième étape. Dans chaque problème obtenu le temps d'exécution d'un conteneur est celui de l'étape considérée, plusieurs relaxations sont étudiées.

### 4 Algorithme mémétique

Nous avons également proposé un algorithme mémétique où le codage consiste à prendre en compte à la fois l'affectation des conteneurs aux machines et leur ordonnancement. L'évaluation d'un chromosome est déterminée par le calcul du plus long chemin dans un graphe. L'opérateur *order crossover* (OX) est utilisé comme opérateur de croisement. Enfin, une recherche locale basée sur la permutation de conteneurs en se basant sur les temps d'installation et une heuristique de construction/destruction sont appliquées comme opérateurs de mutation.

### Références

- [1] L.Chen, N. Bostel, P. Dejax, J. Caia and L. Xia. A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal. *European Journal of Operational Research*, 181 :40–58, 2007.
- [2] P.I.M. Meersmans. Optimization of container handling systems. *Ph.D. thesis, Tinbergen Institute 271, Erasmus University Rotterdam* , 2002
- [3] Q. Zeng, Z. Yang. Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals. *Computers & Operations Research*, 36 :1935–1944, 2009.