

# Ordonnancement de flow shop à deux étages avec buffer intermédiaire et blocage

Limeme Ben Ali<sup>1</sup>, Jean-Charles Billaut<sup>1</sup>, Pascal Bouziguet<sup>2</sup>, Patrick Martineau<sup>1</sup>, Ameer Soukhal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LIFAT EA 6300, ROOT ERL CNRS 7002, 64 avenue Jean Portalis, 37200 Tours  
{jean-charles.billaut, patrick.martineau, ameur.soukhal}@univ-tours.fr  
limeme.benali@etu.univ-tours.fr

<sup>2</sup>SANOFI, Site CSVB V4.900, 82-84 Avenue Raspail 94250 Gentilly, France  
pascal.bouziguet@sanofi.com

**Mots-clés :** *centre de distribution, ordonnancement, flow shop, buffer, MILP, heuristiques*

## 1 Introduction

Dans les modèles classiques d'ordonnancement, on suppose qu'il existe un espace tampon illimité ou de capacité nulle où les produits semi-finis sur un étage peuvent être stockés temporairement avant de passer à l'étage suivant. Considérer le stockage de produits semi-fini dans des zones tampons de capacité limitée en relation avec des modèles classiques de planification et d'ordonnancement fournit un modèle plus réaliste qui peut être utilisé pour résoudre des problèmes pratiques modernes [1,2]. Les zones tampons étant de capacité limitée, une tâche qui ne peut pas y entrer mobilise la ressource [3] sur laquelle elle s'exécute.

Nous étudions un problème d'ordonnancement dans un centre de distribution de l'industrie pharmaceutique. Le centre est composé de plusieurs lignes de préparations, où des opérations de prélèvements de produit et d'emballage sont effectuées. Les lignes sont interconnectées par des convoyeurs physiques qui mènent vers des antennes de tri, où ont lieu des opérations de palettisation. Des buffers communs permettent de servir de zone tampon entre les lignes de préparation et les antennes de tri. Les jobs à ordonnancer correspondent à des commandes de clients qui doivent être prêtes pour une certaine date due. Un job peut être composé de plusieurs opérations de préparation et de plusieurs opérations de tri. Pour certains jobs les opérations doivent passer par le buffer commun. Sur une antenne de tri qui réceptionne des opérations qui ne proviennent pas du buffer, il est obligatoire de séquencer toutes les opérations d'un même job consécutivement, sans intercaler des opérations d'un autre job. On cherche à ordonnancer toutes les opérations sur les lignes de préparation, les antennes de tri et les buffers de sorte à minimiser le plus grand retard.

## 2 Formulation du problème

On considère un ensemble de  $m$  zones de préparation (chaque zone est une ressource disjonctive), un buffer commun de capacité limitée  $B$ ,  $mt_0$  antennes de tri de type 0 (sans passer par le buffer) et  $mt_1$  antennes de tri de type 1 (rattachées au buffer). On a  $n$  jobs à ordonnancer,  $1 \leq j \leq n$ . Chaque job  $j$  est de type 0 ou de type 1 selon qu'il sera traité sur une antenne de tri de type 0 ou de type 1. Chaque job  $j$  est composé de  $m$  opérations de préparation  $o_{i,j}^{prep}$  pour  $1 \leq i \leq m$  et chaque opération de préparation donne lieu à une opération de tri, donc chaque job  $j$  est également composé de  $m$

opérations de tri  $o_{i,j}^{tri}$  pour  $1 \leq i \leq m$ . L'opération de tri doit s'effectuer après l'opération de préparation, mais il est possible de démarrer son exécution avant que l'opération de préparation soit complètement terminée (chevauchement). L'opération de préparation  $o_{i,j}^{prep}$  s'effectue sur la zone de préparation  $i$ . L'opération de tri  $o_{i,j}^{tri}$  s'effectue sur une antenne de tri du même type que le job à choisir. Le buffer a une capacité limitée  $B$  exprimée en nombre de jobs. Un temps de transfert entre les lignes de préparations et le buffer, entre le buffer et les antennes de tri, et entre les lignes de préparations et les antennes de tri sont à prendre en compte. Si un job de type 1 ne peut pas accéder au buffer (capacité atteinte), son opération de préparation mobilise la zone sur laquelle il s'exécute jusqu'à ce qu'il accède au buffer.

On cherche à déterminer les dates de fin de chaque job  $j$  ( $C_j, j = 1, \dots, n$ ), à déterminer les dates d'entrée et de sortie du buffer pour les jobs de type 1 et à affecter les opérations de tri aux antennes de tri du bon type, de sorte à minimiser le plus grand retard défini par  $Lmax = \max_{j=1}^n (C_j - d_j)$  où  $d_j$  est la date de fin souhaitée du job  $j$ .

### 3 Résolution du problème

Nous proposons une formulation du problème en programmation linéaire en nombres entiers, résolue par CPLEX. D'autre part, nous proposons quelques heuristiques de résolution.

Ces méthodes sont testées sur des instances aléatoires générées sur la base d'instances réelles.

Les résultats expérimentaux montrant l'efficacité des méthodes seront présentés lors de la conférence ROADEF 2023. Nous continuons à travailler en particulier sur la résolution (exacte et approchée) du problème ainsi que quelques variantes.

### Références

- [1] Brucker, Peter & Heitmann, Silvia & Hurink, Johann & Nieberg, Tim. (2006). Job-shop scheduling with limited capacity buffers. OR Spectrum. 28. 151-176.
- [2] HINO, Rei. (2004). Job-shop Scheduling Problem with Finite Capacity Buffers. The Proceedings of Manufacturing Systems Division Conference. 2004. 29-30.
- [3] Victor Fernandez-Viagas, Rainer Leisten, Jose M. Framinan, (2016). A computational evaluation of constructive and improvement heuristics for the blocking flow shop to minimise total flowtime. Expert Systems with Applications, 61, Pages 290-301.