Calcul des dates d'injection lors d'une fusion de flux

Blandine Vacher[1,2], Antoine Jouglet[1], Dritan Nace[1], Marwane Bouznif[2], Stéphane Pietrowicz[2]

[1] Sorbonne Universités, Université de Technologie de Compiègne, CNRS, Heudiasyc UMR 7253, CS 60319, Compiègne cedex 60203, France ; {antoine.jouglet,dritan.nace}@hds.utc.fr

[2] SAVOYE, Dijon 21000 et Saint-Etienne 42000, France ;
{blandine.vacher,stephane.pietrowicz}@savoye.com, marwane.bouznif@a-sis.com

Mots-clés : *Ordonnancement, Job Shop, Logistique*

1 Introduction

L'optimisation des plateformes logistiques est devenue essentielle pour répondre à la société de consommation. Nous nous sommes concentrés sur l'intersection des flux de charges sur un collecteur. Nous appelons *charge* un emballage non spécifié, cela peut correspondre à une palette, un carton, un colis, un bacs, etc. L'objectif est d'injecter toutes ces charges sur le collecteur en maximisant son débit. Les solutions proposées sont inventives grâce à leur application inédite sur un convoyeur continu sans accumulation ou des systèmes tels que trieurs (belt tray, tilt tray).

2 Définition du problème

Les charges provenant de différents flux doivent être acheminées, depuis leur allée, sur un collecteur principal. Il faut choisir, à chaque instant, les allées qui doivent déverser leur première charge disponible et l'*injecter* sur le collecteur pour assurer un débit maximal. Les charges étant collectées les une derrière les autre sur une seule dimension en longueur , l'objectif revient à minimiser l'espace entre les charges une fois placées sur le collecteur. L'ordre dans lequel les charges sont supposés sortir du collecteur est connu et imposé.

Soit L l'ensemble des n charges à injecter dans le collecteur, chacune étant identifiée par un numéro unique correspondant à sa position dans la séquence finale souhaitée, notée σ. Soit $A = \{a_1, \ldots, a_k\}$ l'ensemble des k allées, de la plus en amont à la plus en aval et h_i le nombre de charges en attente dans l'allée a_i. Puis, par abus de notation, nous définissons les k fonctions $\forall i = 1 \ldots k, a_i : \mathbb{N} \to \mathbb{N}$ tel que $a_i(j) = l \in L$ où l est l'identifiant (c'est-à-dire la place souhaitée dans la séquence finale σ) de la j^e charge en attente dans l'allée a_i. Nous avons donc $L = \{a_i(j), \forall i = 1 \ldots k, \forall j = 1 \ldots h_i\}$.

La Figure 1 montre un exemple avec $k = 4$, $n = 9$, $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, $L = \{1, 2, \ldots, 9\}$, $\sigma = (1, 2, 3, \ldots, 9)$. Sur cette instance, nous remarquons que $h_1 = 2$ et $a_2(1) = 1$.

Enfin, le collecteur est divisé en *emplacements*, correspondant à la place occupée par une charge sur celui-ci, souvent plus grande que l'espace physique utile afin de prendre en compte un espace de sécurité (borne inférieur de l'espace cumulé entre deux charges).

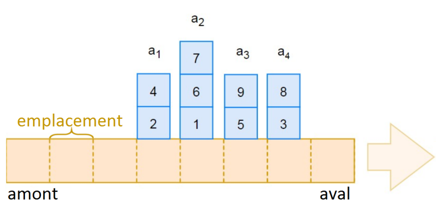

FIG. 1 – Exemple du système étudié

La durée que met le collecteur pour parcourir la distance d'un tel emplacement est prise comme unité de temps dans la suite. Enfin, pour simplifier la présentation, nous considérons ici que les allées sont réparties équitablement tout au long du collecteur sur des emplacements consécutifs, comme le montre la Figure 1.

3 Modélisation et résolution

Pour chaque séquence σ, nous modélisons le système en un modèle *Job Shop à tâches unitaires* à n jobs et k machines. Chaque charge u est associée à un job J_u et chaque allée a_i est associée à une machine M_i. Chaque job J_u associé à une charge contenue dans l'allée a_i est composé d'une liste ordonnée de $1 + k - i$ opérations unitaires $\{o_{u,i}, o_{u,i+1}, \ldots, o_{u,k}\}$. Une opération notée $o_{u,j}$ est une tâche unitaire du job J_u à effectuer spécifiquement sur la machine M_j, correspondant au passage de la charge u devant l'allée a_j pendant une unité de temps. En effet, chaque job doit être injectée depuis une allée a_i (1 opération unitaire) puis passer séquencement devant toutes les allées en aval ($k - i$ opérations unitaires). Un job peut être affecté à une seule machine à la fois et une machine peut effectuer une seule opération à la fois. L'objectif de minimiser les espaces entre les charges sur le collecteur revient à ne pas avoir de temps mort entre les traitements des opérations de la machine M_k. Ce problème d'ordonnancement peut être résolu par l'algorithme suivant, grâce aux spécificités de notre modèle.

Pour commencer, en supposant que la première charge de la séquence provienne de l'allée a_i, les opérations $\{o_{1,i}, o_{1,i+1}, \ldots, o_{1,k}\}$ associées à ce job commencent aux instants $t, t{+}1, \ldots t{+}k{-}i$.

Ensuite, les opérations du job correspondant à la prochaine charge de la séquence seront planifiées d'abord en exécutant l'opération à traiter sur la machine M_k. Cette opération $o_{u,k}$ sera planifiée juste après (sans temps mort) l'opération précédente programmée sur M_k. En supposant que cette opération commence à l'instant t, l'opération sur la machine M_{k-1} (si elle existe) est planifiée à l'instant $t-1$, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toutes les opérations soient programmées.

Cette procédure est appliquée de manière itérative sur chacun des jobs associés suivants de la séquence finale.

Les dates d'injection réelles sur le collecteur sont déduites directement à partir du début de la première opération de chaque job. Dans ce cas précis, nous pouvons déduire directement les temps d'injection par la formule donnée par l'Algorithme 1.

Algorithm 1 Attribution des dates d'injection appliquées au système

Require: $\sigma, L, k, h_i \forall i = 1...k$

$t_0 = \max_{a_i(1) \in L} \{k - i - a_i(1) + 1\}$

$\forall i \in \{1, \ldots, k\}, \forall j \in \{1, \ldots, h_i\} : T(a_i(j)) = t_0 + a_i(j) - 1 - (k - i)$

return $T(u), \forall u \in L$

4 Conclusion

Nous parvenons à maximiser le débit du collecteur tournant à sa vitesse mécanique maximale, en injectant à une date précise toutes les charges afin de respecter une séquence finale souhaitée. Une itération du processus à des instants stratégiques, liés correctement, permet un flux dynamique ininterrompu sur le collecteur, maximisant son débit.

Cette méthode a été adaptée pour des allées réparties de manière aléatoire sur le collecteur et est à coupler avec la construction d'une bonne séquence finale [1]. Ces solutions ont conduit à un dépôt de brevet.

[1] B. Vacher et al., 2019, "Le problème d'injection dans un entrepôt", *ROADEF*