

**Optimisation des opérations dans une plateforme logistique :
prise en compte des flux d'arrivée et de la capacité des ressources internes**
Anne-Laure Ladier ; Encadrant : Gülgün Alpan

Mots-clés : Cross docking, opérations logistiques, planification robuste, simulation à évts discrets

Introduction

Impulsif, versatile et infidèle, le consommateur exige des prix bas mais aussi un excellent niveau de service, notamment en termes de délais de livraison. Une des techniques logistiques qui permettent de relever ce défi est le *cross docking*. Dans une plateforme de *cross docking* (ou *crossdock*), les produits sont déchargés des camions entrant, triés, et directement rechargés pour repartir vers leur prochaine destination. Chaque produit aura passé moins de 24 heures au total dans la plateforme. En éliminant le stockage intermédiaire, cette technique permet de faire baisser les coûts et d'accélérer les flux, mais elle nécessite une planification rigoureuse. De nombreuses questions se posent au manager en charge des opérations : à quelle heure, à quelle porte, avec quelle ressource faut-il décharger chaque camion ? Où déplacer cette palette, faut-il la stocker momentanément, ou faut-il au contraire aller en chercher une en stock pour compléter un chargement ? Comment organiser le chargement pour que chaque camion parte à l'heure prévue ?

Les recherches sur le sujet sont relativement récentes. Jusqu'à présent, la littérature s'est concentrée sur ces questions séparément, souvent en utilisant des cas simplifiés de plateforme avec une porte d'entrée et une porte de sortie (cf. la revue de littérature établie par Van Belle et al. [5] en 2012). Nous avons établi une grille de comparaison et proposé un vocabulaire unifié pour pouvoir comparer l'état de l'art et la réalité de l'industrie. Ainsi, il est possible de mettre en évidence les écarts entre les articles de la littérature et les observations faites sur le terrain. Ce travail fait l'objet d'un article en cours de rédaction (Ladier et al. [2]). Cette analyse nous a permis d'identifier deux axes de recherche, qui sont des problèmes rencontrés très fréquemment sur le terrain mais peu abordés dans la littérature : d'une part, la prise en compte d'incertitudes dans les flux d'arrivée à la plateforme, et d'autre part la prise en compte de la capacité des ressources à l'intérieur de la plateforme.

Un des problèmes complexes qui se posent au sein d'un *crossdock* est le problème de planification des camions entrants et sortants (*truck scheduling*). Une hypothèse fréquente dans la littérature considère que tous les camions sont disponibles au début de l'horizon de planification. Dans la partie 1, nous étudions une situation plus réaliste, où les transporteurs font des réservations de plage horaires pour leurs différents camions. Nous proposons un programme linéaire et deux heuristiques pour résoudre le cas déterministe. Les plannings obtenus sont ensuite testés par un modèle de simulation à événements discrets, afin d'évaluer leur robustesse lorsque les horaires d'arrivée des camions sont perturbés. Dans la partie 2, nous résumons nos travaux sur un problème de génération d'emploi du temps pour les travailleurs de la plateforme. La conclusion explique comment ces deux travaux peuvent être articulés pour former un méta-modèle cohérent.

1 Planification des opérations avec réservation de plage horaire pour les camions

Notre étude se situe à un niveau opérationnel : les décisions prises concernent l'exploitation quotidienne de la plateforme. Les décisions stratégiques (emplacement et forme de l'entrepôt...) et tactiques (mode de service des portes...) sont des éléments qui ne sont pas remis en question. Nous nous plaçons dans le cas d'une plateforme où le mode de service des portes est exclusif (une porte est destinée à l'entrée, ou à la sortie, mais pas les deux).

Pour planifier les opérations d'un jour donné, le manager a à sa disposition la liste des camions (entrée et sortie) prévus ce jour et leur contenu. Grâce à un système de réservation, les transporteurs indiquent leurs plages horaires préférées pour chacun des camions. Si nécessaire, il est possible de

planifier un camion à une plage horaire différente que celle qu'il a demandée ; mais cette situation doit être évitée autant que possible, car elle risque de perturber la tournée de ce transporteur. Si le camion de sortie correspondant n'est pas à quai au moment de traiter une palette entrante, celle-ci est temporairement placée en stock. Comme l'opération va demander deux coups de fourche au lieu d'un (soit deux fois plus de ressources), on cherche également à minimiser ces situations.

Notre objectif est donc de planifier les camions et les transferts de palettes de façon à minimiser la quantité de palettes mises en stock, et à maximiser la satisfaction des transporteurs concernant les plages horaires qui leur sont attribuées dans le planning final.

1.1 PLNE et heuristiques pour le cas déterministe

Le travail résumé dans cette partie est détaillé dans Ladier et Alpan [1].

Dans le cas déterministe, où tous les éléments sont connus, on peut représenter le problème par un programme linéaire en nombres entiers (PLNE). Plusieurs hypothèses sont faites pour permettre cette modélisation :

- [A] Les opérations logistiques (mise à quai du camion, déchargement, réception informatique, transfert ou mise en stock, contrôle, chargement, plombage et départ du camion) sont réalisées en temps masqué, en une unité de temps.
- [B] La distance entre les portes n'est pas prise en compte. Le modèle indique quels camions sont présents aux portes à un instant donné, mais pas quel camion est à quelle porte.
- [C] L'ensemble des palettes d'un camion sont déchargées sur le quai, et éventuellement contrôlées et scannées, avant de pouvoir être transférées. Les palettes peuvent donc être prises dans n'importe quel ordre pour le transfert.

Les variables de décisions concernent d'une part la plage horaire finalement choisie pour les camions (entrant et sortant), et d'autre part les mouvements de palettes (à chaque instant, combien de palettes sont déplacées d'un camion entrant à un camion sortant, d'un camion entrant vers le stock, du stock vers un camion sortant).

Le PLNE formulé (IP*) n'est utilisable que pour de très petites instances. Afin de pouvoir traiter des instances de taille réaliste, nous proposons deux heuristiques. Elles décomposent le problème en deux PLNE plus petits. En supposant que les plages horaires exprimées pour les camions sortants sont les plages horaires finales, le PLNE (IP1) détermine le planning des camions sortants. Ce planning est utilisé comme une donnée d'entrée pour une version relaxée d'(IP*). La seconde heuristique suit la même logique, en fixant cette fois les camions entrants. Ces deux heuristiques permettent de traiter des instances correspondant à un entrepôt de taille moyenne, avec un résultat à moins de 6% de l'optimal.

1.2 Simulation à événements discrets pour tester le cas stochastique

Les modèles décrits dans la partie précédente fournissent une planification optimale, ou proche de l'optimal, dans un cas déterministe. On peut cependant se poser deux questions : (1) Les hypothèses formulées ne sont-elles pas trop restrictives ? Quels sont leurs domaines de validité ? (2) A quel point le planning initial est-il perturbé en cas d'événements imprévus, par exemple si un camion arrive en retard ou en avance, ou si son contenu diffère du contenu annoncé ?

Pour répondre à ces questions, nous avons développé un modèle de simulation à événements discrets avec le logiciel FlexSim[®] (<http://www.flexsim.fr>). Ce modèle reproduit le fonctionnement de la plateforme de cross docking que nous cherchions à modéliser dans la partie 1.1. Il utilise le planning de camions calculé par le PLNE comme une donnée d'entrée. Le détail des mouvements de palettes n'est, en revanche, pas utilisé comme donnée d'entrée, pour que le modèle puisse s'adapter en cas de changement par rapport au planning prévu. Un algorithme simple, similaire à ce que pourrait faire un manager, est donc proposé pour organiser le flot de palettes.

1.2.1 Validation du modèle

La première étape consiste à vérifier que, dans un cas déterministe, le modèle de simulation se comporte de façon similaire au programme linéaire. Ce dernier effectue le routage des palettes de façon optimale, alors que l'algorithme que nous utilisons est de type glouton. Il existe donc des différences de comportement dans certains cas. Par ailleurs, des déviations peuvent apparaître à cause de la différence d'échelle : le programme linéaire considère des intervalles d'une heure alors que le modèle de simulation discrétise le temps à l'échelle de l'événement. La phase de validation permet de confirmer que, avec certaines précautions, il est possible d'utiliser le modèle de simulation pour modéliser l'implémentation de nos planning dans un crossdock.

1.2.2 Domaine de validité des différentes hypothèses

Afin de vérifier les hypothèses [A] et [B], le modèle de simulation est testé en rendant stochastiques (distributions triangulaires) les durées des différentes tâches. Plusieurs indicateurs (nombre de palettes mises en stock, déviation sur l'heure de mise à quai, déviation sur le temps passé à quai) sont utilisés pour évaluer le comportement du modèle et voir à partir de quel niveau de variabilité les opérations sont perturbées.

1.2.3 Robustesse du modèle aux aléas

La prochaine étape consiste à modifier aléatoirement les heures d'arrivées des camions pour que certains arrivent en avance ou en retard par rapport à l'heure prévue. L'objectif est d'observer l'effet obtenu sur la plateforme avec différentes politiques de prise en charge des camions ("premier arrivé premier servi", ou "le camion à l'heure est prioritaire"). Les tests sont en cours de réalisation et ce travail va être présenté à EURO-INFORMS 2013 (Ladier et al. [4]).

1.3 Amélioration du modèle PLNE

Afin de rendre le modèle plus robuste, il est possible d'utiliser une à deux portes comme tampon pour prendre en charge les camions en retard ou en avance. Une autre option est d'ajouter un intervalle de temps tampon entre deux arrivées de camion à une porte, afin d'absorber les éventuels retards. Les tests numériques réalisés avec FlexSim vont permettre d'identifier la meilleure longueur pour cet intervalle. Les modifications effectuées sur le PLNE pour le rendre plus robuste pourront être évaluées grâce au modèle de simulation.

2 Planification des ressources humaines dans un crossdock

Une hypothèse fréquente dans la littérature sur le cross docking considère que les ressources humaines et matérielles à l'intérieur de la plateforme sont infinies. Cela n'est évidemment pas le cas, et l'adéquation des ressources au volume d'activité est cruciale pour la performance d'une plateforme logistique. Les emplois du temps doivent respecter de nombreuses contraintes :

- les opérateurs sont polyvalents, avec un profil de compétences spécifique pour chacun ;
- la modulation est autorisée (35 heures par semaine réalisées *en moyenne sur l'année*) ;
- l'embauche d'intérimaires est possible, avec des coûts qui dépendent des compétences ;
- le nombre d'engins de manutention disponibles, la pénibilité des tâches, l'équité et la régularité du planning obtenu... doivent être également pris en compte.

Dans Ladier et al. [3], nous avons modélisé ce problème à l'aide de trois programmes linéaires en variables entières et mixtes résolus de façon séquentielle. Ils permettent d'affecter aux employés : leur volume de travail par jour (MILP1), leurs horaires exacts et leurs tâches avec une précision à l'heure (MILP2), et leurs tâches pour un jour donné avec une précision au quart d'heure (MILP3).

Conclusion

Les deux modèles présentés en parties 1 et 2 doivent être combinés afin d'obtenir un modèle d'optimisation relativement réaliste pour une plateforme de cross docking. L'idée est de générer l'emploi

du temps des employés une semaine à l'avance, comme l'exige la réglementation, à partir des données prévisionnelles sur les camions. La veille, on relance MILP3 afin d'obtenir un planning de la journée qui prenne en compte les nouvelles données éventuelles sans trop différer de l'emploi du temps diffusé précédemment aux employés. Le résultat permet de savoir combien d'employés peuvent être affectés au déchargement/chargement des camions : cette information est utilisée comme contrainte pour le calcul du planning des camions. Le résultat donne un volume d'activité par heure, qui peut différer de celui utilisé en entrée de MILP3. On recommence donc le processus jusqu'à obtenir une solution satisfaisante. Le principe est décrit par la figure 1.

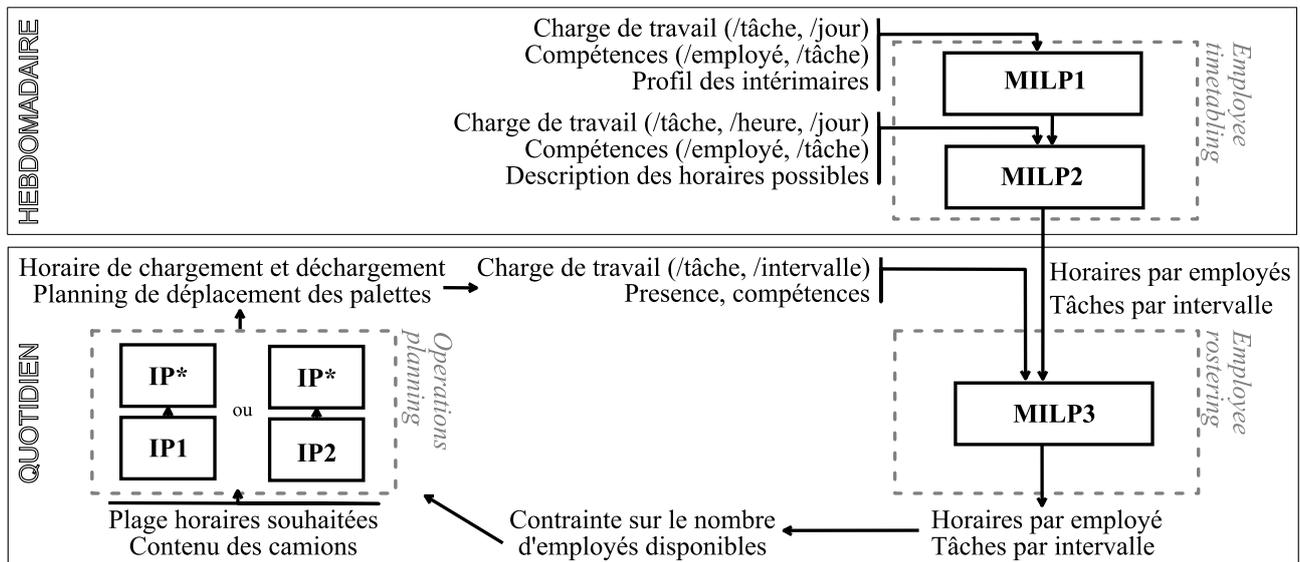


FIGURE 1 – Lien entre les problèmes de planification des camions et des employés

Des expérimentations sont nécessaires pour vérifier si cette méthode converge, combien d'itérations sont nécessaires, quel effet elle produit sur la robustesse des différents plannings.

L'objectif final est de développer un outil d'aide à la décision pour un pilotage optimal des opérations dans une plateforme logistique.

Remerciements

Le travail décrit dans la section 1.2 a été réalisé en partenariat avec Allen G. Greenwood, de Mississippi State University (Department of Industrial & Systems Engineering), et financé par une bourse de la région Rhône-Alpes.

Références

- [1] Anne-Laure Ladier and Gülgün Alpan. Scheduling truck arrivals and departures in a cross dock : earliness, tardiness and storage policies. In *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, 2013. To appear.
- [2] Anne-Laure Ladier, Gülgün Alpan, and Allen G. Greenwood. Cross docking operations : current research vs. industry practice. En cours de rédaction.
- [3] Anne-Laure Ladier, Gülgün Alpan, and Bernard Penz. Joint employee timetabling and rostering : a decision-support tool for a logistics platform. Soumis à *European Journal of Operational Research*, 2ème révision en cours, 2013.
- [4] Anne-Laure Ladier, Allen G. Greenwood, Gülgün Alpan, and Halston Hales. A cross dock simulation model to assess the robustness of an IP-based truck schedule. In *26th European Conference on Operational Research*, 2013. To appear.
- [5] Jan Van Belle, Paul Valckenaers, and Dirk Cattrysse. Cross-docking : State of the art. *Omega*, 40(6) :827–846, 2012. Special Issue on Forecasting in Management Science.