

Optimisation des opérations dans une plateforme logistique : prise en compte des flux d'arrivée et de la capacité des ressources internes

Anne-Laure Ladier, sous la direction de Gülgün Alpan

Introduction

Avec l'explosion du e-commerce, les consommateurs deviennent impulsifs, versatiles et infidèles, exigeant à la fois des prix bas et un excellent niveau de service notamment en termes de délais de livraison. Le *cross-docking* est une des techniques logistiques qui permettent de relever ce défi. Dans une plateforme de *cross-docking* (ou *crossdock*), les produits sont déchargés des camions entrants, triés, et directement rechargés pour repartir vers leur prochaine destination (figure 1). Chaque produit aura passé moins de 24 heures au total dans la plateforme. En éliminant le stockage intermédiaire, cette technique permet de réduire 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 ?

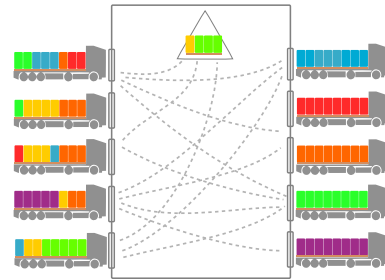


FIGURE 1 – Une plateforme de cross-docking

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 menée par Van Belle et al. [7] 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. [3]). 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.

Nous souhaitons intégrer ces deux aspects dans la résolution d'un problème complexe qui se pose au sein d'un crossdock, le problème de planification des camions entrants et sortants (*truck scheduling*). Dans Alpan et al. [1], nous proposons des heuristiques pour résoudre ce problème, avec préemption, en supposant tous les camions sont présents au début de l'horizon de planification. Dans la partie 1, nous étudions une situation plus réaliste, où les transporteurs réservent des plages 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. Nous proposons plusieurs modèles robustes pour la planification des opérations de cross-docking. 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 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 dispose de 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 du cariste 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 [2].

Dans le cas déterministe, où tous les éléments sont connus, on peut modéliser le problème par un programme linéaire en nombres entiers (PLNE). Plusieurs hypothèses sont faites pour permettre cette modélisation ; nous considérons notamment que 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. La distance entre les portes n'est pas prise en compte : le modèle donne la liste des camions présents aux portes à chaque unité de temps, mais pas leurs affectations à des portes données.

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 unité de temps, le nombre de palettes déplacées d'un camion à l'autre, depuis et vers le stock).

Le PLNE ainsi formulé (IP*) n'est utilisable que pour de très petites instances. Afin de pouvoir traiter des instances de taille réaliste, nous proposons deux heuristiques, qui 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. La situation réelle est plus incertaine. Comment 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 cette question, nous avons développé un modèle de simulation à événements discrets avec le logiciel FlexSim[©]. Ce modèle reproduit le fonctionnement de la plateforme de cross-docking de la partie 1.1, et 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 est donc proposé pour organiser le flot de palettes.

1.2.1 Validation du modèle

Il s'agit de 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. 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. Une analyse des différentes causes de déviation et des moyens de contourner ces problèmes est proposée dans Ladier et al. [6].

1.2.2 Evaluation de la robustesse du modèle

Dans Ladier et al. [4], nous utilisons le modèle de simulation pour évaluer la robustesse du modèle d'optimisation face à des perturbations à trois niveaux :

- variations sur la durée de transfert d'une palette au sein de la plateforme ;
- variations sur le temps de déchargement d'une palette ;
- variations sur les heures d'arrivée des camions à la plateforme (avance ou retard).

Le comportement du système est analysé en observant le nombre de palettes mises en stock, la déviation sur l'heure de mise à quai, la déviation sur le temps passé à quai... pour établir un lien entre le niveau de variabilité appliqué et les perturbations observées. A partir des résultats numériques, nous proposons trois indicateurs de robustesse, permettant d'évaluer numériquement la robustesse du modèle dans chacune des trois situations.

1.3 Reformulations robustes

Nous cherchons maintenant des reformulations plus robustes du modèle initial. L'analyse de la littérature indique en particulier trois techniques non encore étudiées pour cette application :

- *Méthodes génériques d'optimisation robuste*. Nous proposons deux variantes du modèle initial : l'une minimise la performance dans le pire cas, l'autre minimise l'écart entre la performance réalisée et la performance du cas déterministe.
- *Redondance temporelle*. Cette notion est utilisée en planification de projet : ajouter des périodes tampon (*buffers*) entre les tâches d'un projet le rend plus robuste aux perturbations. La longueur des buffers peut être fixe, distribuée régulièrement, ou dépendante du nombre de successeurs. Nous transposons ces notions au cas du cross-docking.
- *Redondance de ressources*. Trop coûteuse en gestion de projet, cette technique fonctionne sur les plateformes ayant beaucoup de portes. Les variantes testées visent à garder des portes libres pour absorber les perturbations éventuelles.

Tester chaque variante sur le modèle de simulation permet de comparer expérimentalement ces différentes techniques en utilisant les indicateurs de robustesse évoqués au paragraphe 1.2.2.

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. [5], 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 2.

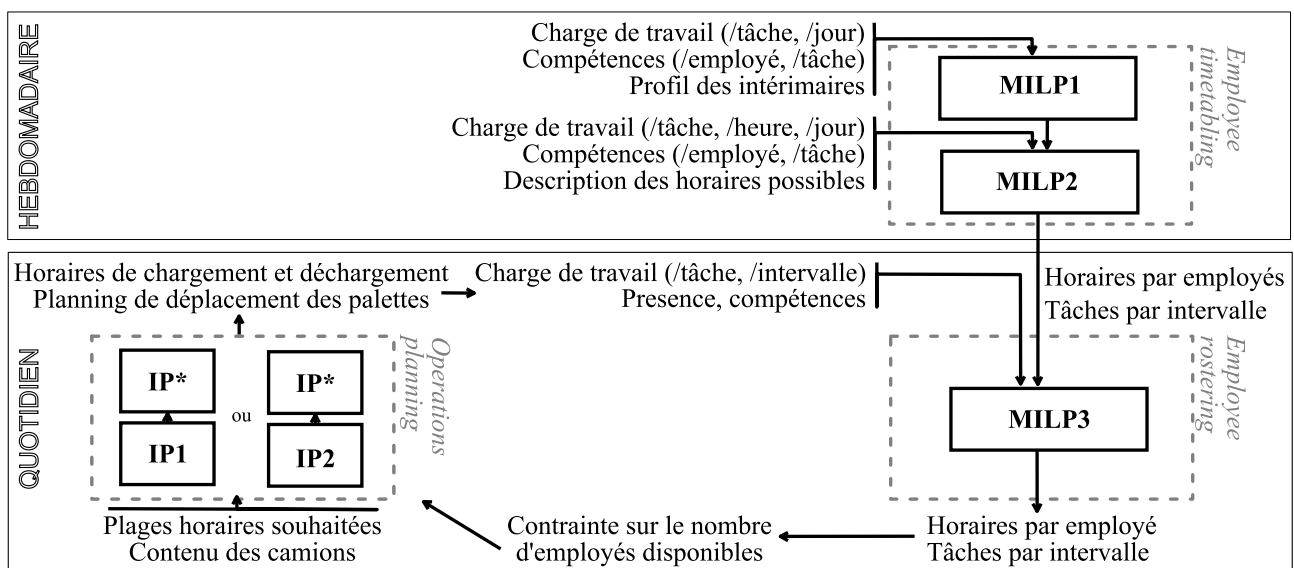


FIGURE 2 – Lien entre les problèmes de planification des camions et des employés

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.

Références

- [1] Gülgün Alpan, Anne-Laure Ladier, Rim Larbi et Bernard Penz. Heuristic solutions for transshipment problems in a multiple door cross docking warehouse. *Computers & Industrial Engineering*, 61(2):402–408, 2011.
- [2] Anne-Laure Ladier et Gülgün Alpan. Scheduling truck arrivals and departures in a crossdock : earliness, tardiness and storage policies. *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, Rabat, Morocco, 2013.
- [3] Anne-Laure Ladier, Gülgün Alpan et Allen G Greenwood. Cross-docking operations : current research vs. industry practice. *En préparation*.
- [4] Anne-Laure Ladier, Gülgün Alpan et Allen G Greenwood. Robustness evaluation of an IP-based cross-docking schedule using discrete-event simulation. *Soumis à Industrial and Systems Engineering Research Conference*, 2014.
- [5] Anne-Laure Ladier, Gülgün Alpan et Bernard Penz. Joint employee timetabling and rostering : a decision-support tool for a logistics platform. *European Journal of Operational Research*, 2013.
- [6] Anne-Laure Ladier, Allen G Greenwood, Gülgün Alpan et Halston Hales. Issues in the complementary use of simulation and optimization modeling. *Soumis à Operational Research Society Simulation Workshop*, 2014.
- [7] Jan Van Belle, Paul Valckenaers et Dirk Cattrysse. Cross-docking : State of the art. *Omega*, 40(6):827–846, 2012.