

Un algorithme pour le problème de chargement de camions du challenge ROADEF/EURO 2022-2023

Florian Fontan¹, Luc Libralesso

dev@florian-fontan.fr

Mots-clés : *packing, challenge EURO/ROADEF 2022-2023.*

1 Introduction

Tous les deux ans depuis plus de 20 ans, les sociétés française (ROADEF) et européenne (EURO) de recherche opérationnelle organisent un challenge d'optimisation en collaboration avec un partenaire industriel. L'objectif du challenge est de stimuler la recherche sur des problématiques présentes dans l'industrie mais peu étudiées dans la recherche académique.

L'édition 2022-2023 du challenge a été organisé en collaboration avec Renault Group et porte sur un problème de chargement de camions.

2 Description du problème

Des colis doivent être livrés des fournisseurs vers une usine. Pour cela, des trajets de camions ont été prédéfinis. Un trajet correspond à une liste ordonnée de fournisseurs visités dans cet ordre et à une date et heure d'arrivée. Le problème consiste à sélectionner pour chaque trajet prédéfini, combien de camions utiliser – possiblement aucun – et à donner le plan de chargement de chaque camion, de sorte que tous les colis soient livrés à l'usine et que chaque colis arrive à l'usine avant sa date limite associée.

L'objectif est de minimiser le coût total de la solution qui se compose du coût des camions utilisés et du coût d'inventaire des colis à l'usine.

- Pour le coût des camions, chaque trajet à un coût associé au premier camion utilisé pour ce trajet. Pour les camions supplémentaires de ce trajet, le coût est multiplié par un facteur $(1 + \alpha)$, α étant un paramètre du problème.
- Pour le coût d'inventaire, chaque colis possède un coût d'inventaire. Ce coût est compté pour chaque jour d'avance où le colis arrive à l'usine.

Règles de chargement

Le chargement des colis dans un camions doit satisfaire plusieurs règles :

- Piles : tout d'abord, le packing peut utiliser les trois dimensions. Mais, la troisième dimension (hauteur) ne peut être utilisée qu'à travers des piles. Une pile contient des colis qui ont la même longueur et largeur.
 - Hauteur d'imbrication : certains colis peuvent s'imbriquer lorsqu'ils sont placés les uns au-dessus des autres dans une pile. La hauteur d'une pile peut donc être plus petite que la somme des hauteurs des colis qu'elle contient
 - Densité maximum des piles : les piles ne doivent pas dépasser une certaine densité.
 - Nombre de colis des piles : certains colis ne peuvent pas être dans une pile qui contient plus d'un certains nombre de colis.
- Support : chaque colis doit être supporté sur la gauche, soit par un autre colis, soit par l'avant de camion.

- Ordre de chargement : les colis venant d'un fournisseur visité avant doivent avoir leur coordonnée en longueur inférieure aux colis des fournisseurs visités ensuite.
- Poids maximum : le poids total des colis chargés dans un camion ne doit pas dépasser une limite dépendante du camion
- Répartition du poids : les valeurs des résultantes de poids sur les essieux du milieu et arrières du camions ne doivent pas dépasser une limite dépendante du camion.

Les contraintes de répartition du poids sont peu communes dans la littérature scientifique et difficiles à traiter. En effet, un bon plan de chargement n'est pas nécessairement un plan de chargement compact, car une densité trop élevée peut rendre la solution infaisable.

Les instances du challenge contiennent de quelques centaines à quelques centaines de milliers de colis.

3 Algorithme proposé

Notre approche repose d'abord sur une décomposition de Benders combinatoire. A l'exception de contraintes sur le volume et le poids total des colis chargés dans chaque camion, toutes les contraintes de packing sont ignorées dans le problème maître. La sortie du problème maître contient donc une affectation des colis aux trajets ainsi qu'un nombre de camions utilisés pour chaque trajet. Le sous-problème consiste à vérifier s'il existe un plan de chargement réalisable pour ces affectations. Lors de la résolution du sous-problème, plus de camions que le nombre de camions sélectionnés en sortie du problème maître peuvent être utilisés pour un trajet, afin de garantir d'avoir une solution où tous les colis sont chargés. Toutefois, si plus de camions sont nécessaires, le problème maître est mis à jour. Les camions contenant en général un nombre élevé de colis, entre 50 et 100, l'utilisation de coupes pour mettre à jour le problème maître n'est pas efficace. Nous avons donc choisi de réduire le volume des camions dans ce cas.

Le problème maître est résolu par programmation linéaire en nombres entiers.

Le sous-problème, qui correspond à un problème de bin packing en trois dimensions, est résolu par décomposition en une séquence de problèmes de sac-à-dos à trois dimensions : tant qu'il reste des colis non chargés, un nouveau camion est ajouté et chargé autant que possible.

Pour résoudre le problème de sac-à-dos à trois dimensions, nous avons développé deux algorithmes.

Le premier algorithme décompose le problème en un problème de génération de piles qui est un problème de bin packing à une dimension, et un problème de chargement de piles, qui est un problème de packing à deux dimensions. Ces sous-problèmes sont résolus à l'aide de méthodes de recherche arborescente heuristique. Cet algorithme trouvent de très bonnes solutions pour les problèmes où les contraintes de répartition du poids ne sont pas très contraignantes.

Le deuxième algorithme est une recherche arborescente heuristique qui génère directement des plans de chargement en trois dimensions. Cette algorithme permet de mieux gérer les instances où les contraintes de répartition du poids sont importantes. Il présente comme caractéristique notable d'autoriser des nœuds correspondant à des solutions partielles infaisables pour les contraintes de répartition du poids. Mais la recherche est guidée de tel sorte à arriver sur des feuilles réalisables.

4 Résultats

Le programme implémentant l'algorithme décrit ci-dessus a été soumis lors de la phase finale de la compétition, où il a été classé premier.