

Chargement d'avions dans le cadre d'une projection de forces¹

C. Guéret*, N. Jussien*, O. Lhomme*, C. Pavageau*, C. Prins**

* Ecole des Mines de Nantes
{gueret, jussien, lhomme, cpava}@emn.fr

** Université de Technologie de Troyes
prins@univ-troyes.fr

Résumé

Dans le domaine militaire, la projection de forces consiste à envoyer le plus rapidement possible, en utilisant les moyens mis à disposition, des matériels en différents théâtres d'opérations tout en respectant un certain nombre de contraintes. Un tel déploiement nécessite une étape consistant à *charger* les moyens de transport (des avions dans notre cas) avec le matériel concerné. L'objectif du travail présenté ici est de réaliser un *outil automatisé* qui réalise cette opération en cherchant à minimiser le nombre total de trajets pour acheminer tout le matériel.

1. Description du problème

On considère une base de départ à laquelle sont affectés un ensemble d'avions de différentes capacités et un ensemble d'objets à transporter en différentes destinations. Chaque objet est supposé rectangulaire et est caractérisé par son point d'arrivée, son poids et ses dimensions.

L'objectif du problème est de minimiser le nombre de sorties de tous les avions, en respectant les contraintes suivantes :

- Contraintes portant sur les avions :
 - Un avion ne dessert qu'une seule destination par trajet ;
 - Le nombre de sorties de chaque type d'avion est limité par une borne inférieure et une borne supérieure ;
 - Certains avions ne peuvent transporter certains objets.
- Contraintes portant sur les objets :
 - Certains objets doivent être obligatoirement transportés avec certains autres ;
 - Certains objets sont incompatibles et ne peuvent pas être transportés ensemble ;
 - Les objets ne peuvent pas être empilés dans les avions ;
 - Certains objets peuvent être tournés de 90°. D'autres n'ont qu'une seule orientation possible ;
 - Les hommes sont modélisés par des « objets » avec la particularité de ne pas pouvoir être placés n'importe où dans l'avion : ils doivent être assis soit sur des bancs fixes, soit sur des bancs amovibles qui ont des positions bien déterminées.

Ce problème peut être vu comme un problème de bin-packing en deux dimensions, avec des boîtes de différentes capacités et des contraintes additionnelles. Clairement, ce problème est NP-Difficile.

2. Détermination d'une première solution

La méthode de résolution choisie consiste dans un premier temps à calculer une solution réalisable. Nous avons développé deux sortes d'heuristiques : une heuristique de liste et une méthode de génération de chargements.

L'heuristique de liste consiste tout d'abord à trier les objets selon un certain critère : des tests ont montré que les meilleurs résultats sont obtenus en les classant par valeurs *poids* / *surface* décroissantes. Ensuite, les objets sont chargés dans l'ordre du tri dans les avions. Plusieurs avions étant chargés en

¹ Ce travail a été en partie financé par la Délégation Générale pour l'Armement (DGA). Nous remercions Patrick JOURNEE et Franck OUARY pour leurs commentaires.

parallèle, un objet est affecté à un avion suivant différents critères : avion le moins chargé, avion le plus chargé... Il reste alors à positionner l'objet à l'intérieur de l'avion. Pour cela, le nombre d'objets par avion n'étant pas trop élevé, nous avons utilisé une méthode exacte de type programmation par contraintes, permettant de tenir compte de toutes les contraintes « exotiques » comme les obligations ou incompatibilités entre objets.

La méthode de génération de chargements se décompose en deux phases : la première génère aléatoirement un nombre conséquent de chargements réalisables, la seconde sélectionne un sous-ensemble de ces chargements de façon à emporter le plus possible d'objets. Dans la première étape, les objets sont placés dans les avions grâce à la méthode exacte décrite plus haut. La seconde étape est résolue par une adaptation de l'algorithme de Chvatal [1].

Les troupes étant relativement faciles à placer (ce sont des *objets très petits* comparés aux autres), dans les deux heuristiques que nous proposons, les hommes sont chargés après tous les autres objets, tout d'abord sur les bancs fixes, puis sur des bancs amovibles si les bancs fixes sont insuffisants.

3. Procédures d'amélioration

Les heuristiques présentées dans la section 2 construisent rapidement une solution réalisable, mais à cause des bornes imposées sur le nombre de trajets des avions, ces solutions ne permettent pas toujours de transporter tous les objets. Nous avons développé différentes procédures d'amélioration.

Une des procédures, inspirée de [2], exécute un nombre fixé de fois l'heuristique de liste en modifiant l'ordre de la liste entre deux itérations : tous les objets qui n'ont pu être chargés sont avancés en début de liste avant chaque nouvelle exécution. La meilleure solution obtenue au cours des itérations est conservée.

Nous avons de plus développé une recherche locale visant à faire de la place dans les avions pour les objets qui n'ont pas pu être chargés. Elle consiste à essayer de transférer les objets d'un avion dans les autres. Dans le cas où l'on dispose d'une solution réalisable dans laquelle tous les objets ont pu être chargés, cette recherche locale permet, de plus, de diminuer le nombre de trajets.

4. Résultats sur des jeux de données

Nous avons testé nos heuristiques sur des jeux de données fournis par la DGA dont les caractéristiques sont les suivantes : moins de 20 types d'objets différents, environ 5000 objets par destination, 3 destinations en moyenne, et de 10 à 60 avions par flotte.

En général, les solutions obtenues par les deux heuristiques sont similaires à celles construites à la main par la DGA. Pour quelques jeux de données, nos résultats sont bien meilleurs. Dans quelques cas, les experts trouvent une meilleure solution, mais l'amélioration dépasse rarement un trajet.

Le principal avantage de notre outil est que la solution est obtenue en quelques minutes en moyenne (30 minutes maximum pour les instances les plus difficiles), au lieu d'une journée à la main. Ainsi, la DGA peut rapidement effectuer un grand nombre de simulations, ce qui lui permet de valider les paramètres de nouveaux véhicules, ou de nouveaux avions...

5. Conclusion

Les deux méthodes développées sont toutes les deux utilisées actuellement à la DGA. Le logiciel de projection de forces dont dispose la DGA se compose de deux modules : le module de chargement que nous avons réalisé, et un module de planification des vols. Les deux modules étant indépendants, l'objectif est maintenant de développer une méthode de résolution intégrant les deux problèmes en même temps.

Références

[1] Chvatal, V. (1979). A greedy heuristic for the set-covering problem. *Mathematics of operations research* **4**, 233-235.

[2] Prins, C. (1991). Deux problèmes d'ordonnancement en télécommunications par satellite. *RAIRO-Operations Research* **25(3)**, 341-358.