Application de méthodes de résolution pour variables mixtes à un problème industriel d'IRP au sein de LocalSolver

Guillaume Crognier[1]

LocalSolver, 24 avenue Hoche, 75008 Paris, France
gcrognier@localsolver.com

Mots-clés : *variables mixtes, inventory routing problem, solveur*

1 Introduction

LocalSolver est un solveur d'optimisation globale, mêlant des techniques de recherche opérationnelle exactes et des techniques heuristiques, comme la recherche locale [1]. De type *model-and-run*, il permet de modéliser divers problèmes d'optimisation (combinatoires, continus, mixtes, ...) et de les résoudre sur des instances de grande taille. L'une des évolutions récentes du solveur implémente une méthode de résolution dédiée pour les problèmes à variables mixtes dont la partie continue est linéaire. L'objectif du papier est de montrer l'efficacité d'une telle méthode sur des instances industrielles de grande taille qui décrivent un problème de tournées de véhicules avec gestion d'inventaire (*inventory routing problem*, IRP).

2 Méthode d'optimisation en variables mixtes

2.1 Description de la méthode

On considère le problème d'optimisation suivant

$$\min_{x,y} f_1(x) + f_2(y) \text{ tels que } \begin{cases} g(x) = 0\,, \\ h(y) = 0\,, \\ l(y) \leq x \leq u(y), \\ y \in \mathbb{Z}^q \end{cases}.$$

On suppose de plus que les applications f_1 et g sont affines. Les bornes des variables continues x dépendent des variables entières y. La méthode d'optimisation implémentée au sein de LocalSolver consiste alors à effectuer des mouvements de recherche locale uniquement sur la partie combinatoire $y \in \mathbb{Z}^q$ puis de réparer la solution obtenue (c'est à dire affecter des valeurs à x) en résolvant le problème linéaire issu du problème initial à y fixé. Ce-dernier est résolu avec un algorithme du simplexe.

Cette méthode est ensuite accélérée en exploitant notamment les certificats d'infaisabilité donnés par le lemme de Farkas [2].

2.2 Application au cas de l'IRP

Les problèmes de tournées de véhicules avec gestion d'inventaire sont un cadre d'application typique de la méthode présentée ci-dessus. Les variables combinatoires représentent les décisions d'affectation et d'ordre de passages des véhicules chez les clients et les variables continues représentent les quantités livrées chez les clients. Dans ce cas, le couplage entre les variables est le suivant. Si le client est livré, les bornes de la variable continue associée sont comprises entre 0 et la capacité du camion. Si le client n'est pas livré, les bornes sont nulles.

Récemment, une société de services japonaise a contacté LocalSolver afin de résoudre un problème d'IRP qui possède quelques spécificités par rapport à sa version la plus pure. En plus des fenêtres de temps qui sont définies pour chaque client, l'optimisation a lieu sur un horizon de deux jours. Les véhicules doivent rentrer au dépôt entre les deux journées, et tout véhicule utilisé le premier jour doit également l'être le second. De plus, les véhicules sont limités à la fois dans la durée de travail mais également dans le nombre de visites qu'ils peuvent faire chaque jour. Enfin, les clients ne peuvent pas être visités plus d'un certain nombre de fois et pour un client donné, la demande peut être supérieure à la capacité du camion le plus volumineux pouvant visiter le client en question.

Les journées ne sont pas identiques. En plus des fenêtres de temps des clients qui peuvent évoluer d'un jour sur l'autre, le premier jour les véhicules ne sont disponibles qu'en fin de journée. Enfin, l'objectif est de minimiser une combinaison linéaire du nombre de camions, de la distance parcourue et du temps écoulé. Ces contraintes ne remettent pas en question la structure linéaire liée aux variables continues, et par conséquent la méthode décrite précédemment s'applique.

3 Résultats

Les instances envoyées par le client vont jusqu'à 120 véhicules et 100 points de livraison qui peuvent être livrés jusqu'à 5 fois chacun en 2 jours. Le problème peut facilement être écrit dans un formalisme linéaire compact, et les premiers résultats montrent que les meilleurs solveurs PLNE n'arrivent pas à passer à l'échelle sur les plus grandes instances en moins de 15 minutes. La recherche locale seule n'est pas capable d'améliorer la solution initiale naïve. En revanche, la méthode d'optimisation en variables mixtes décrite ici s'est révélée être extrêmement efficace dans un temps respectant les contraintes opérationnelles (moins de 15 minutes), même pour les plus grandes instances. Dans le tableau ci-dessous, les solutions identiques à la solution naïve initiale sont notées avec une astérisque *.

Modèle Solveur	PLNE compact Gurobi 9.1	Recherche locale LocalSolver 10.5	Recherche locale + simplexe LocalSolver 10.5
30 clients et 36 camions	13,747	37,064*	13,760
50 clients et 60 camions	25,350	61,725*	23,221
100 clients et 115 camions	118,324*	118,324*	51,585

TAB. 1 – Valeur des solutions obtenues sur les instances industrielles au bout de 15 minutes

4 Conclusions et perspectives

L'approche par réparation des variables continues est très efficace sur les problèmes sur lesquels elle est active, et les résultats montrent qu'elle passe bien à l'échelle même sur des problèmes industriels de grande taille.

Pour les futurs travaux, il est envisagé de généraliser l'approche précédente de plusieurs façons. Il est possible de traiter des sous-problèmes linéaires plus larges dont les coefficients matriciels dépendent eux aussi de l'affectation des variables entières y. Une autre piste est d'élargir cette méthode aux sous-problèmes non-linéaires en appliquant un autre algorithme de réparation que le simplexe.

Références

[1] F. Gardi, T. Benoist, J. Darlay, B. Estellon, et R. Megel. *Mathematical Programming Solver Based on Local Search*, Wiley, 2014

[2] O. Rigal. *Résolution de problèmes d'optimisation à variables mixtes dans LocalSolver*, ROADEF, 2020