

Heuristique efficace pour la protection des biens contre l'avancée des feux de forêts

Ala Eddine Yahiaoui^{1,2}, Aziz Moukrim¹, Mehdi Serairi¹, Marc Demange³

¹ Sorbonne universités, Université de technologie de Compiègne
CNRS, Heudiasyc UMR 7253, CS 60 319, 60 203 Compiègne cedex
`{ala-eddine.yahiaoui, aziz.moukrim, mehdi.serairi}@hds.utc.fr`

² IMT Atlantique, Laboratoire LS2N, UMR CNRS 6004, Nantes, France

³ School of Science, RMIT University, Melbourne, Australia
`marc.demange@rmit.edu.au`

Mots-clés : *Problèmes de tournées de véhicules sélectives, feux de forêts, fenêtres de temps, synchronisation, recherche locale itérée, problème de couverture par ensembles.*

1 Introduction

Nous étudions dans cet article une variante récente des problèmes de tournées de véhicules sélectives appelée *The Synchronized Team Orienteering Problem with Time Windows (STOPTW)*. Cette variante, qui prend en compte les contraintes de fenêtres de temps et les visites synchronisées, est proposée initialement pour modéliser et résoudre des problèmes opérationnels liés à la lutte contre les feux de forêts. Dans ce problème, on considère un scénario où un ensemble de sites stratégiques (infrastructures, écoles, usines...) localisés dans une région menacée par l'avancée des feux de forêts. Chaque site est caractérisé par une fenêtre temporelle qui estime le moment optimal d'intervention afin d'assurer sa protection. Chaque site nécessite également pour sa protection l'intervention simultanée de plusieurs types de véhicules ayant des compétences différentes (hétérogènes). Les pompiers disposent d'une flotte de véhicules hétérogènes où chaque type est caractérisé par un vecteur de compétences, une vitesse, un réseau de circulation et un nombre d'unités limité. À cause des contraintes temporelles et le nombre de véhicules limités, protéger tous les sites est *a priori* impossible. Des valeurs positives, qu'on appelle *profits*, sont alors associées aux différents sites pour pouvoir les discriminer selon leurs importances. Le profit de chaque site est ainsi obtenu une fois les opérations de protection se sont accomplies. L'objectif dans ce problème est de sélectionner un sous-ensemble de sites à protéger afin de maximiser le profit collecté tout en respectant les contraintes temporelles et de ressources.

Le problème est introduit initialement dans [1] sous le nom *Asset Protection Problem during Escaped Wildfires*. Les auteurs ont proposé une formulation mathématique en nombres mixtes pour résoudre des petites instances du problème. Les auteurs dans [2] ont proposé ensuite une méthode approchée de type *Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS)* dont les tests ont été réalisés sur un nouvel ensemble d'instances généré à partir des benchmarks de [3].

Dans cet article, nous proposons une méthode heuristique hybride qui combine des méthodes de recherche locale et une formulation mathématique qui résout un problème de couverture par ensembles. Les résultats préliminaires obtenus sur les instances de référence [2] montrent l'efficacité de notre méthode par rapport à l'ALNS [2], et cela en termes de qualité de solutions ainsi que le temps de calcul.

2 Contribution

Nous proposons un schéma heuristique itératif pour résoudre le STOPTW. Chaque itération incorpore trois composantes principales. La première composante consiste en une méthode

de recherche locale itérée et adaptative (A-ILS) basée sur une recherche locale du type *Destruction/Construction*. L'opérateur d'insertion est à base de *liste de candidats* alors que la destruction partielle de la solution se fait par un opérateur adaptatif. Ce dernier joue le rôle d'une phase de perturbation. Concernant la méthode d'insertion, les candidats (les sites à protéger) sont ordonnés selon un critère qui prend en compte trois facteurs : le profit, la largeur des fenêtres de temps et le nombre de véhicules requis. Ces facteurs sont ensuite pondérés par des paramètres générés d'une façon semi-aléatoire/adaptative et permettent de calculer de nouvelles listes de candidats à chaque itération. Ce mécanisme permet par conséquent à l'A-ILS de couvrir une large partie de l'espace de recherche.

La deuxième composante consiste en une méthode de *descente à voisinage variable (VND)*. La VND fait appel à plusieurs opérateurs de recherche locale adaptés au cas du STOPTW. Quatre opérateurs ont été utilisés : *relocate*, *2-opt **, *exchange* ainsi que l'opérateur *insertion* décrit précédemment.

Les deux premières composantes génèrent des solutions de bonne qualité. Ces solutions sont ensuite sauvegardées dans un pool pour être ensuite utilisées par la troisième composante pour résoudre un problème de couverture par ensembles. L'objectif du modèle mathématique est d'extraire la combinaison de tournées qui permet d'avoir la solution avec le maximum de profit possible.

3 Expérimentation

Pour évaluer les performances de notre méthode, nous l'avons comparée avec l'ALNS proposée dans [2]. Le benchmark utilisé pour cet effet est composé de 360 instances réparties sur trois classes : petites, moyennes et grandes instances, avec respectivement, 35, 100 et 200 sites.

Vu que les deux méthodes montrent des performances similaires pour les petites instances, TAB. 1 décrit les résultats globaux des deux méthodes pour les moyennes et grandes instances. On affiche pour chaque méthode le temps cpu (*CPU*), les meilleurs résultats (*BEST*) et les résultats moyens (*AVG*). Une colonne supplémentaire (*GAP*) rapporte l'amélioration de notre méthode par rapport à l'ALNS en terme de meilleures solutions obtenues.

TAB. 1 – Comparaison avec la littérature

Nb. Sites	ALNS			Notre heuristique			
	CPU(s)	Best (%)	AVG (%)	CPU(s)	Best (%)	AVG(%)	GAP(%)
100	141.66	68.03	66.37	49.22	76.47	75.18	−12.41
200	578.93	64.04	62.68	176.36	74.40	73.80	−16.18

Remerciements Ces travaux sont co-financés par la Région Hauts-de-France et le Fond Européen de Développement Economique et Régional (FEDER), et s'effectuent dans le cadre du projet européen GEOSAFE et le Labex MS2T soutenu par le gouvernement français, à travers le programme Investissements d'avenir géré par l'ANR (Référence ANR-11-IDEX-0004-02).

Références

- [1] Van Der Merwe, M., Minas, J. P., Ozlen, M., & Hearne, J. W. (2014). A mixed integer programming approach for asset protection during escaped wildfires. *Canadian Journal of forest research*, 45(4), 444-451.
- [2] Roozbeh, I., Ozlen, M., & Hearne, J. W. (2018). An adaptive large neighbourhood search for asset protection during escaped wildfires. *Computers & Operations Research*, 97, 125-134.
- [3] Gehring, H., & Homberger, J. (1999, May). A parallel hybrid evolutionary metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows. In *Proceedings of EUROGEN99* (Vol. 2, pp. 57-64). Springer Berlin.