

# Déblaiement de débris d'une vaste zone urbaine suite à une catastrophe majeure

Guilherme de Castro Pena<sup>1,3</sup>, Andréa Cynthia Santos<sup>2</sup>, Christian Prins<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa - CRP (IEP), 38810-000, Rio Paranaíba/MG, Brasil  
guilherme.pena@ufv.br

<sup>2</sup> Normandie Université, UNIHAVRE, UNIROUEN, INSA Rouen, LITIS, 76600, Le Havre  
andrea-cynthia.duhamel@univ-lehavre.fr

<sup>3</sup> Université de Technologie de Troyes LIST3N, CS 42060, 10004, Troyes CEDEX, France  
christian.prins@utt.fr

**Mots-clés :** *logistique de crise, déblaiement, planification, tournées de véhicules.*

Des évènements catastrophiques en milieu urbain que ce soit d'origine naturelle, technologique ou industrielle peuvent causer des impacts considérables comme ceux qui ont frappé le Port de Beyrouth en 2020, ou encore le tremblement de terre en Haïti en 2010. Selon l'étendue et la puissance de l'évènement, cela peut générer un grand volume de débris. Dans ce cas, l'étape de déblaiement est souvent chronophage (des mois, voire des années) et demande des ressources humaines et matérielles conséquentes. Plusieurs stratégies peuvent être considérées pour traiter ce problème de déblaiement de débris, comme le transport vers des sites de traitement (réutilisation ou recyclage), vers des points de décharge, ou encore la réalisation d'un terrassement.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'évacuation des débris vers des points de décharge. Ce problème est modélisé comme un problème de planification des équipes de travail (*Work-Troops* (WT)) dans le temps, couplé à un système de tournées réalisées par des camions-bennes. Le réseau de transport est modélisé par un graphe, où l'ensemble des sommets représentent le dépôt, les sommets de débris et les sommets de décharge. En utilisant ce réseau, les WT enlèvent les débris et chargent les camions, qui les transportent vers les points de décharge. Il existe un nombre limité de WT et de camions. De plus, deux échelles de temps discrétisées sont considérées : la journée de travail et l'horizon de la planification. Une synchronisation est réalisée pour assurer qu'une WT chargera un seul camion à la fois et une autre qui veille à ce que deux ou plusieurs camions n'arrivent pas au même moment dans les points de chargement. L'attente est gérée en amont des points de chargement. Deux optimisations sont considérées, la minimisation du nombre de périodes (horizon de temps) pour nettoyer l'ensemble des sommets de débris et la minimisation des coûts pour les camions-bennes.

Le côté planification du problème étudié a des relations avec le problème de planification de projets avec contraintes de ressources (RCPSP de l'anglais, *Resource-Constrained Project Scheduling Problem* - (RCPSP)) [1] et la partie tournées est proche d'un problème de tournées de véhicules en pleine charge (en anglais *Full Truckload Vehicle Routing Problem* - (FTVRP)) [2], mais avec voyages multiples et périodes multiples. C'est donc une intégration des deux problèmes avec des contraintes additionnelles pour les voyages multiples, l'indexation des deux échelles de temps et la prise en compte des synchronisations. Le travail [3] a traité le RCPSP avec des tournées de collecte et de livraisons. Cependant, les travaux les plus proches dans la littérature sont ceux de [4] et [5], où des véhicules synchronisés réalisent des collectes et des livraisons dans une chaîne d'approvisionnement, de manière à minimiser les coûts totaux de trajets des véhicules. A notre connaissance, aucun travail dans la littérature considère l'ensemble des caractéristiques adressées dans cette étude.

Nous proposons une formulation mathématique reposant sur un multiflot dynamique (indexé dans le temps). L'avantage de ce type de modèle est que les synchronisations et la permanence des WT sur un sommet jusqu'à la fin du nettoyage sont traitées directement par le flot, sans contraintes additionnelles. L'inconvénient est le grand nombre de contraintes et de variables. Différentes variantes de la métaheuristique à grande voisinage (LNS, *Large Neighbourhood Search*) ont été proposées. LNS effectue des améliorations itératives basées sur trois procédures principales : suppression, insertion et acceptation. Des heuristiques gloutonnes, déterministes ou aléatoires, produisent une solution initiale réalisable. Par la suite, des suppressions aléatoires sont réalisées sur les affectations des WT. Ceci engendre la suppression en cascade des tournées associées. L'insertion suit une recherche locale du type *first improvement* ou *best improvement*.

Un plan d'expérimentations a été mené, en démarrant par un calibrage automatique géré par IRACE, un package basé sur du *machine learning*. Des résultats ont été obtenus, notamment pour l'étude de cas de Haïti, où le graphe contient environ 400 sommets de débris, un dépôt et un point de décharge. De plus, 10 millions de mètres cubes ont été distribués dans ces sommets. Des scénarios de tests contenant au plus 21 WT et 83 camions de capacité de 20 mètres cubes ont été utilisés. Le nombre de ressources (WT et camions) a été obtenu par un comptage à partir d'images satellites. Seule la distribution des débris est basée sur une approximation. Les tests numériques pour ces scénarios réalistes indiquent que le nettoyage complet peut se faire en un peu plus d'un an, si toutes les ressources WT et camions sont disponibles. Cela peut aller jusqu'à 4 ans dans le scénario avec moins de ressources, contenant 21 WT et 21 camions, un pour chaque WT. Comparé aux données du rapport des Nations Unies [6], où 1 million de mètres cubes a été enlevé au bout de 2 ans, on se rend compte des apports considérables de l'optimisation.

Des travaux futurs vont considérer une formulation, où la synchronisation et la permanence des WT seront modélisées sans flot. Puis, une étude de l'impact des débris dans des modèles de tournées de véhicules sera aussi considérée.

## Acknowledgments

Le projet TRIDE a été financé par la Région Grand Est et le Conseil départemental de l'Aube, Troyes, France.

## Références

- [1] S. Hartmann, D. Briskorn. *A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem* European Journal of operational research. *Elsevier*, 2071 :1–14, 2010.
- [2] J. Desrosiers, G. Laporte, M. Sauve, F. Soumis, S. Taillefer. *Vehicle routing with full loads*. Computers & Operations Research. *Elsevier*, 153 :219–226, 1988.
- [3] P. Lacomme, A. Moukrim, A. Quilliot, M. Vinot. *Integration of routing into a resource-constrained project scheduling problem* EURO Journal on Computational Optimization. *Elsevier*, 74 :421–464, 2019.
- [4] R. Soares, A. Marques, Alexandra, P. Amorim, J. Rasinmäki. *Multiple vehicle synchronization in a full truck-load pickup and delivery problem : A case-study in the biomass supply chain* European Journal of Operational Research. *Elsevier*, 2771 :174–194, 2019.
- [5] A. Grimault, N. Bostel, F. Lehuédé. *An adaptive large neighborhood search for the full truckload pickup and delivery problem with resource synchronization* Computers & Operations Research *Elsevier*, 881 :1–14, 2017.
- [6] UNDP. *Technical Guide for Debris Management - The Haitian experience 2010 - 2012*. United Nations Development Programme, 2013.