

Modélisation et optimisation de la filière de la déconstruction sélective par un algorithme génétique hybride

C. Juvigny^{1,2}, J. Baste², G. Lozenguez¹, A. Doniec¹, L. Jourdan²

¹ IMT Lille Douai, CERI Système numérique, 59650 Villeneuve-d'Ascq, France
corentin.juvigny@imt-nord-europe.fr

² Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 CRIStAL, F-59000 Lille, France

Mots-clés : *Algorithme génétique, Recherche opérationnelle, Déconstruction sélective*

1 Introduction

La gestion des déchets liés à la déconstruction des bâtiments est un des problèmes majeurs que doit faire face l'industrie du bâtiment [1].

L'objectif de notre étude est de modéliser les problématiques de la déconstruction, ses contraintes et ses coûts. À partir de cette dernière, nous utiliserons des méthodes issues de différents domaines afin de minimiser les coûts induits tout en respectant l'ensemble des contraintes subies par la filière.

2 Modélisation et optimisation du secteur

Afin de modéliser les problématiques liées au secteur de la déconstruction, nous avons séparées les contraintes en 2 catégories ; d'abord celles liées aux choix du bâtiment à déconstruire, et aux dates de sa réalisation, et celles liées à la gestion des flux de matériaux issus de la déconstruction de ces dits bâtiments. On peut ainsi représenter notre problème sous la forme de deux problèmes liés : d'un côté un problème d'ordonnancement des bâtiments à déconstruire, appelé problème de contractualisation, de l'autre la gestion des flux de matériaux issus de ces bâtiments, appelé problème d'allocation des ressources. Ces deux problèmes s'influencent mutuellement et doivent être calculer à la suite ; en effet l'ordonnancement du premier implique les flux du second dont le coût se répercute sur le coût du premier [1].

2.1 Problème de contractualisation

Modélisation. Les bâtiments à déconstruire peuvent être modéliser comme de tâches devant être exécutées par des industriels du secteur, et plus particulièrement par ce que l'on appelle leurs *unités opératives*, c'est-à-dire des unités de ces industriels qui sont capables de réaliser la déconstruction de matériaux donnés à une vitesse donnée. Chaque bâtiment est lui-même composé d'un certain nombre de matériaux, matériaux qui doivent être déconstruits dans un ordre précis. Ces matériaux correspondent donc aux différentes opérations pour une tâche *bâtiment*. De plus, ces bâtiments possèdent une date de début (*release date*) ainsi qu'une date de rendu (*due date*). On s'interdit de commencer les opérations d'un bâtiment avant sa date de début, mais on tolère un dépassement de la date de rendu, au prix de pénalités financières. On considère également une priorité sur les bâtiments ; plus cette dernière est importante, plus le coût des retards sur ces dits bâtiments augmente. Ainsi, le problème de contractualisation est un *Weighted Flexible Job Shop with release dates*, que l'on peut noter $wFJ|r_j| \sum \max(0, c_j - d_j)$ selon la notation de Graham. Ce problème est NP-Difficile [2].

Résolution par algorithme génétique. Nous utilisons un algorithme génétique afin de résoudre ce problème, en encodant une solution à l'aide de trois listes [3], l'une définissant l'ordre d'exécution des opérations, une autre l'affectation des opérations sur les machines, et la dernière le décalage du début d'une tâche par rapport à sa release date. Ce choix a été motivé pour permettre de prendre en compte les solutions dans lesquelles une opération est volontairement retardée (c'est-à-dire qu'aucune contrainte n'interdit à cette opération de commencer plus tôt dans l'ordonnancement), car ces solutions particulières, souvent équivalentes à une solution où l'opération est exécuté dès que possible, peuvent avoir un coût inférieur dans notre cas. En effet, retarder cette opération pourrait permettre de prévenir l'apparition d'un goulot d'étranglement sur les matériaux qui en sont issus et ainsi diminuer la valeur optimale du problème d'allocation des ressources induit.

Pour chacune de ces listes, deux opérateurs de mutation et deux de croisement ont été développés. La population initiale est générée aléatoirement, à l'exception d'un des individus qui est construit à partir d'un algorithme glouton. Les métaheuristiques ont été implémentées en C++ à l'aide du framework `ParadiseO`¹.

2.2 Problème d'allocation des ressources

Une fois l'ordonnancement des différentes opérations fixé, on peut calculer le coût du problème d'allocation de ressources associé. Les matériaux peuvent être envoyés soit directement dans des centres de recyclages, soit être temporairement stockés dans des entrepôts. Ces sites ayant des capacités maximales d'accueil par matériau, le surplus est envoyé dans un puit pour un coût délibérément exorbitant ; il modélise en effet la mise en décharge des matériaux, action que les acteurs veulent absolument éviter. Plusieurs solutions sont envisagées afin de calculer ce coût. Les deux méthodes à l'étude sont d'une part une modélisation à l'aide d'un programme linéaire, et d'autre part une modélisation multi-agents [4], chacune possédant ses avantages et ses inconvénients. Le coût ainsi calculé est ensuite réinjecté dans le coût du problème de contractualisation. C'est ce coût combiné qui est le coût réel de notre solution.

3 Conclusion

Nous avons développé une modélisation du problème de déconstruction de bâtiments à l'aide d'une modélisation hybride composée de deux sous-problèmes, que nous avons résolus, pour l'un grâce à un algorithme génétique, et pour l'autre via diverses approches que nous avons ensuite comparées. Notre problème n'étant pas un problème classique de la littérature, un générateur d'instances a été développé. Les résultats seront présentés lors de la conférence.

Références

- [1] C. Juvigny, J. Baste, G. Lozenguez, A. Doniec, and L. Jourdan. Digitalisation de la déconstruction sélective : simulation et optimisation des filières. *ROADEF*, 2022.
- [2] J. Lenstra, A. Rinnooy Kan, and P. Brucker. Complexity of machine scheduling problems. *Annals of Discrete Mathematics*, 1 :343–362, 1977.
- [3] X. Li and L. Gao. An effective hybrid genetic algorithm and tabu search for flexible job shop scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 174 :93–110, 2016.
- [4] Y. Yu, D. Yazan, S. Bhoichhoya, and L. Volker. Towards circular economy through industrial symbiosis in the dutch construction industry : A case of recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, (293), 2021.

1. nojhan.github.io/paradiseo/