



**HAL**  
open science

## Digitalisation de la déconstruction sélective : simulation et optimisation des filières

C Juvigny, Julien Baste, G Lozenguez, A Doniec, Laetitia Jourdan

### ► To cite this version:

C Juvigny, Julien Baste, G Lozenguez, A Doniec, Laetitia Jourdan. Digitalisation de la déconstruction sélective : simulation et optimisation des filières. Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA'21) Plate-Forme Intelligence Artificielle (PFIA'21), Jul 2021, Bordeaux, France. pp.79-81. hal-03298744

**HAL Id: hal-03298744**

**<https://hal.science/hal-03298744v1>**

Submitted on 23 Jul 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Digitalisation de la déconstruction sélective : simulation et optimisation des filières

C. Juvigny<sup>1,2</sup>, J. Baste<sup>2</sup>, G. Lozenguez, A. Doniec<sup>1</sup>, L. Jourdan<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> IMT Lille Douai, CERI Système numérique, 59650 Villeneuve-d'Ascq, France

<sup>2</sup> Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 CRISAL, F-59000 Lille, France

## Résumé

*Le domaine de la déconstruction des bâtiments produit un grand nombre de déchets industriels qui ne sont, pour l'heure, que peu valorisés, alors qu'ils pourraient être soit recyclés, soit directement réutilisés dans d'autres chantiers. L'objectif de cette étude est de fournir un outil permettant de modéliser et d'optimiser les différents flux de matériaux issus des déconstructions pour une meilleure réutilisation de ces derniers, ou le cas échéant un meilleur recyclage. Pour cela, des techniques de modélisations à base d'agents seront utilisées afin de visualiser les dynamiques des différents acteurs de la filière, ainsi que des techniques de méta-heuristiques afin d'optimiser l'ordonnancement des actions de ces acteurs.*

## Mots-clés

*Modélisation multi-agents, Recherche opérationnelle, Déconstruction sélective*

## Abstract

The field of building deconstruction produces a large amount of industrial waste which are not currently recovered. It represents a huge waste of resources as a large part of this waste could be either recycled or directly reused in other construction sites. The objective of this study is to provide a tool to model and optimize the different material flows from deconstruction for better reuse and recycling. For this purpose, agent-based modeling techniques will be used in order to visualize the dynamics of the different actors of the sector, as well as metaheuristic techniques in order to optimize the scheduling of the actions of these actors.

## Keywords

Agent-based model, Operations research, Selective deconstruction

## 1 Introduction

Le domaine du BTP est le principal générateur de déchets en France (70% de la production annuelle totale en France en 2015, soit 228 millions de tonnes). Plus particulièrement le secteur du bâtiment représente 46 millions de tonnes de déchets annuellement. La loi sur la transition énergétique de 2015 ambitionne un taux de recyclage de 70% de ces déchets industriels. On est à l'heure actuelle bien loin de

cet objectif. En effet, l'Agence de la transition écologique (ADEME) estime que seuls 35% de ces déchets sont valorisés, alors même que des filières de valorisation existent dans la majorité des cas. Ainsi, l'ADEME a produit en 2016 le rapport DÉMOCLÈS qui a étudié les causes de la non-valorisation des matériaux issus des déconstructions. Les deux grandes causes révélées dans ce rapport sont d'une part la méconnaissance par les maîtres d'ouvrage du coût de la gestion des déchets et d'autre part une très mauvaise coordination des nombreux acteurs du domaine.

Une modélisation à base d'agents est adaptée pour étudier ce genre de système complexe, définie par un grand nombre d'acteurs interagissant ensemble selon leurs intérêts propres [2] [1]. Ils ont notamment été utilisés afin de simuler les flux de ciments Portland en Chine et au Chili [8] ou encore pour simuler les chaînes d'approvisionnement et de recyclage des granulats de béton aux Pays-Bas [11].

De plus un certain nombre de chercheurs ont couplé les modèles basés agents avec des méthodes issues de la recherche opérationnelle [3] comme des approches par méta-heuristiques, en particulier dans le cadre des problèmes d'ordonnancement [5]. Ces méthodes permettent d'obtenir un ordonnancement final de bonne qualité tout en gardant un temps de calculs raisonnable.

Dans cette article, nous présenterons dans un premier temps la problématique ainsi que son cas d'étude, puis nous proposerons les méthodes envisagées pour y répondre.

### 1.1 Problématique

Un premier enjeu consiste à pouvoir modéliser de façon efficace ce problème. Un deuxième enjeu est de pouvoir, à partir de la modélisation, simuler les actions de chacun des acteurs en un temps raisonnable. Enfin, un troisième enjeu réside dans l'optimisation des actions et des interactions des différents acteurs dans un objectif de diminution des coûts financiers et environnementaux.

### 1.2 Cas d'étude

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons spécifiquement à la filière de la déconstruction sélective dans la région Haut-de-France. Un certain nombre d'acteurs du domaine de la déconstruction sélective nous apporte leurs expertises afin de nous aider à affiner nos modèles pour les rendre les plus réalistes possibles. En particulier un certain nombre de chantiers considérés comme représentatifs des

différentes configurations de chantiers par ces acteurs sont utilisés comme des chantiers tests. Ces derniers nous permettent d'obtenir des données suffisantes pour tester nos modèles.

L'objectif est de fournir, à terme, à nos partenaires un outil de modélisation permettant d'optimiser leurs propres actions au niveau du territoire, de façon à diminuer les coûts financiers et écologiques des déconstructions, tout en se mettant en conformité avec les nouvelles réglementations et législations.

## 2 Optimisation par simulation multi-agents

Au vu de la nature du problème, il est envisagé de réaliser une modélisation à l'aide de systèmes multi-agents. En effet, comme l'ont montrées des études précédentes [8] [11], ce type de modélisation est adapté pour représenter des systèmes complexes possédant un grand nombre d'acteurs évoluant simultanément dans un même espace. À partir de cette modélisation, il est envisagé d'optimiser l'ordonnancement des actions des agents à l'aide de métaheuristiques [5].

### 2.1 Modèle multi-agents

La filière de la déconstruction sélective comporte un grand nombre d'acteurs aux compétences variées. Chacun de ces acteurs possède des objectifs et des contraintes qui leurs sont propres ainsi que des moyens d'agir sur le système bien déterminés. Une entreprise ou une organisation peut être décomposée en unités opératives, c'est-à-dire une unité à même de réaliser des opérations pour le compte de l'entreprise, elles-mêmes composées d'une certaine quantité de ressources (main-d'œuvre, équipement, savoir-faire ...).

Chaque unité opérative peut être modélisée par un agent qui enregistrera les capacités opératives de l'unité [11] ainsi que ses limitations. L'aide de nos partenaires du secteur nous permettra de définir aux mieux ces capacités et ces contraintes en fonction de leur expérience sur le terrain. Certains de ses agents peuvent être mobiles (unité de déconstruction, transporteurs de matériaux) tandis que d'autres seront fixes (usines de recyclage, entrepôts...).

Enfin, chacun des bâtiments impliqués dans la déconstruction sélective peut être lui aussi modélisé par un agent. Ces agents d'un type particulier enregistreront les matériaux disponibles (et leurs quantités restantes), le coût de ses matériaux, etc...

Il est envisagé de faire figurer les bâtiments qui ne sont pas directement impliqués dans la filière (c'est-à-dire ceux qui ne sont pas en cours de déconstruction ou de rénovation) dans le modèle sous la forme d'un agent passif qui modélisera la capacité de ce bâtiment à se détériorer avec le temps. L'objectif de cette représentation est de pouvoir anticiper les futurs chantiers de déconstruction, et donc les futurs stocks de matériaux possibles. Il sera ainsi possible d'avoir une simulation sur un temps plus long, ce qui nous offrira des scénarios de plus long terme.

In fine, les agents interagissent dans un graphe orienté, modélisant les différents flux de matériaux possibles [8]. Ce

graphe a vocation à être généré à partir de cartes SIG (Système d'Information Géographique) pour le rendre le plus proche possible du réel. Le choix de la plateforme de simulation n'est pas encore définitif, mais une première simulation a été réalisée à l'aide de la plateforme *GAMA* [7].

### 2.2 Métaheuristiques & Ordonnancement

Bien que permettant de créer des simulations à la fois rapides et relativement proches de la réalité, les modélisations à base d'agents souffrent du fait que les agents qui les composent ne peuvent pas connaître l'impact final de leurs décisions sur la qualité globale de l'ordonnancement, cette dernière ne s'appréciant qu'à la fin de la simulation. Ils sont donc contraints à ne prendre des décisions qu'avec les informations qu'ils ont localement. On appelle ce phénomène la myopie des agents [5]. Afin de contourner ce phénomène, différentes approches ont été proposées dans la littérature. Il est ainsi possible de combiner plusieurs niveaux de simulations à base d'agents [4], de simheuristics [3] ou encore de méthodes dites hybrides [5] [10]. Ces dernières peuvent être séparées en deux groupes : celles incorporant des simulations à base d'agent au sein de leur méthode [1] [5] [6], et celles reposant sur une simulation agents dont certains agents prennent des décisions en fonction du résultat d'une métaheuristique [9].

Le choix de la méthode n'est pas encore fixée pour notre problème, et des études plus approfondies sont menées afin de déterminer quelles approches seraient les plus pertinentes dans notre cas. Une étude comparative entre les différents approches serait d'ailleurs intéressante à être menée. La première approche qui est envisagée est une approche de la première catégorie inspirée par les travaux de Yunfei Chu, Fengqi You et John M Wassick [5] sur le problème d'ordonnancement de processus complexes par lots (scheduling of complex batch processes), qui se base sur une heuristique d'arbre de recherches (beam search [10]) qui utilise une simulation multi-agents afin d'évaluer une borne supérieure du coût de chacune des branches à chaque branchement de l'arbre, afin de choisir quelles branches de l'arbre explorer et quelles branches ignorer.

Il est prévue d'utiliser le plus possible la bibliothèque *paradisEO* (C++) dans l'implémentation de nos métaheuristiques, car cette bibliothèque est bien éprouvée et performante.

## 3 Conclusion

Dans ce papier, nous avons présenté les méthodes que nous souhaitons déployer pour résoudre les problèmes liés à la gestion des flux de matériaux dans la déconstruction. Tout d'abord une modélisation utilisant des systèmes multi-agents sera réalisée. Enfin à partir de cette modélisation des métaheuristiques intégrant cette dernière sont envisagées.

## Remerciements

Ces travaux sont menés dans le cadre de la chaire industrielle RECONVERT avec le support de la Métropole Européenne de Lille et de l'I-Site Université Lille Nord-Europe.

## Références

- [1] M. Barbati, G. Bruno, and A. Genovese. Applications of agent-based models for optimization problems : A literature review. *Expert Systems with Applications*, 39(5) :6020–6028, 2012.
- [2] David F. Batten. Fostering industrial symbiosis with agent-based simulation and participatory modeling. *Journal of Industrial Ecology*, 2009.
- [3] Manuel Chica, Angel A. Juan, Óscar Cordón, and W. David Kelton. Why simheuristics? benefits, limitations, and best practices when combining metaheuristics with simulation. *SSRN*, 2017.
- [4] Yunfei Chu, John M. Wassick, and Fengqi You. Efficient scheduling method of complex batch processes with general network structure via agent-based modeling. *AIChE Journal*, 59(8) :2884–2906, 2013.
- [5] Yunfei Chu, Fengqi You, and John M. Wassick. Hybrid method integrating agent-based modeling and heuristic tree search for scheduling of complex batch processes. *Computers Chemical Engineering*, 60 :277–296, 2014.
- [6] Yunfei Chu, Fengqi You, John M. Wassick, and Anshul Agarwal. Integrated planning and scheduling under production uncertainties : Bi-level model formulation and hybrid solution method. *Computers Chemical Engineering*, 72 :255–272, 2015. A Tribute to Ignacio E. Grossmann.
- [7] Alexis Drogoul, Edouard Amouroux, Philippe Caillou, Benoit Gaudou, Arnaud Grignard, Nicolas Marilleau, Patrick Taillandier, Maroussia Vavasseur, Duc-An Vo, and Jean-Daniel Zucker. Gama : A spatially explicit, multi-level, agent-based modeling and simulation platform. In Yves Demazeau, Toru Ishida, Juan M. Corchado, and Javier Bajo, editors, *Advances on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, pages 271–274, Berlin, Heidelberg, 2013. Springer Berlin Heidelberg.
- [8] Marcelo Gonzalez, Ivan Navarrete, Paz Arroyo and Gabriel Azúa, and Jose Mena. Sustainable decision-making through stochastic simulation : Transporting vs. recycling aggregates for portland cement concrete in underground mining projects. *Journal of Cleaner Production*, (159), 2017.
- [9] Jan A. Persson, Paul Davidsson, Stefan J. Johansson, and Fredrik Wernstedt. Combining agent-based approaches and classical optimization techniques. 2005.
- [10] El-Ghazali Talbi. *Metaheuristics : from design to implementation*. Wiley, 2009.
- [11] Yifei Yu, D.M. Yazan, Silu Bhoohichoya, and Leentje Volker. Towards circular economy through industrial symbiosis in the dutch construction industry : A case of recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, (293), 2021.