

---

# Optimisation de stratégies de chantier et de gestion des déchets pour la déconstruction de bâtiments

Eva Queheille<sup>1</sup>, Nadia Saiyouri<sup>2</sup>, Franck Taillandier<sup>2</sup>, Pierre Guerlou<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Bordeaux-I2M, 351 cours de la Libération, Bât B18, 33405 Talence, France, [eva.queheille@u-bordeaux.fr](mailto:eva.queheille@u-bordeaux.fr)

<sup>2</sup> Université de Bordeaux-I2M, 351 cours de la Libération, Bât B18, 33405 Talence, France

<sup>3</sup> Bordeaux Démolition Services (BDS), 11-13 rue Gay Lussac, 33708 Mérignac, France

---

*RÉSUMÉ.* Le domaine du bâtiment fait face à de nombreux enjeux environnementaux, notamment au travers de sa gestion des déchets lors de démolitions. Afin d'encourager les entreprises du secteur à améliorer leurs pratiques, les réglementations européenne et française ciblent une valorisation matière minimale de 70% massive pour 2020. Cependant, pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de prendre en compte la démolition dans son ensemble (depuis le début du chantier jusqu'à la valorisation des déchets). Dans cet article, nous avons proposé un modèle d'optimisation multi-objectif permettant d'optimiser les chantiers de démolition. Le modèle est composé de 17 variables de décision (nombre d'ouvriers, type de traitement des déchets...) qui influencent trois objectifs : coût, délais et valorisation matière. L'application du modèle sur un cas réel a souligné son efficacité et son intérêt : l'approche a permis de trouver une stratégie conduisant à une meilleure valorisation des déchets sans surcoûts ni augmentation des délais.

*ABSTRACT.* Building domain is also confronted by environmental issues, notably with waste management during demolition. In order to encourage companies of the domain to improve their practices, European and French laws target a minimal recovering rate of 70% (in mass) for 2020. However, to fulfill this objective, it is necessary to consider demolition in its globality (from the beginning of the works to waste recovering). In this article, we proposed a Multi-Objective Optimization model that enables to improve demolition sites. The model is composed of 17 decision variables (number of workers, treatment type for waste...) that influence three objectives : cost, delays and recovering rate. Application of the model on a real case highlighted its efficiency and its interest : the approach enabled to find a strategy that reaches a better recovering of waste without excessive costs or delays.

*MOTS-CLÉS :* Déconstruction, Gestion des déchets, Valorisation, Optimisation multi-objectif, Algorithme évolutionnaire.

*KEY WORDS:* Deconstruction, Waste management, Recovering, Multi-objective optimization, Evolutionary algorithm.

---

## 1. Introduction

Le domaine du bâtiment est un secteur-clé en matière d'environnement. Parmi les différents enjeux environnementaux de ce domaine, la gestion des déchets issus de la démolition est d'une importance majeure de par les volumes considérés (plus de 35 Mt par an [CGD 11]) et les impacts auxquels ils contribuent (pollution, impacts sur la santé humaine, surexploitation des terres en décharge...). Pour encourager à mieux gérer ces déchets, la réglementation européenne (Directive-cadre 2008/98/CE [PAR 08]) et française (Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte [MEE 15]) a ciblé d'ici 2020 l'atteinte de 70% de valorisation matière pour les déchets du BTP. Pour les travaux publics, l'objectif est aisément atteignable : les déchets sont presque exclusivement inertes et sont majoritairement représentés par des terres. Dans le bâtiment, les matériaux sont beaucoup plus variés (cloison de plâtre, dalles minérales, panneaux sandwich...), rendant plus complexe l'atteinte de cet objectif. Les déchets du bâtiment sont certes inertes à hauteur de 72 % [CHA 16]. Mais il est fortement probable que les prochaines années tendront vers un durcissement des réglementations environnementales et des recycleurs (moins de résidus pour un produit recyclé de meilleure qualité), ainsi qu'un intérêt croissant de la maîtrise d'ouvrage envers des démarches plus vertueuses de l'environnement.

Afin de réaliser des chantiers plus écologiques, la déconstruction est la démarche la plus adaptée. Le chantier se déroule alors comme l'inverse de la construction : le dernier élément installé dans le bâtiment est le premier retiré, et ainsi de suite. L'intérêt de cette démarche est que les déchets sont naturellement triés : les matériaux de même fonction et de même nature sont retirés en même temps, ce qui facilite leur évacuation. Le principe de déconstruction peut être appliqué dans le cas de rénovation, où seulement le second œuvre sera traité (phase de travaux dénommée « Curage »), ou dans le cas de démolition, où l'ensemble du bâtiment (second œuvre en phase de curage, puis gros œuvre pendant la phase de travaux dénommée « Démolition ») sera à gérer. La déconstruction reste pourtant un processus encore peu réglementé : les industriels du secteur recherchent le plus souvent les stratégies de démolition les moins chères et les plus rapides, tout en conservant l'idée que recycler plus impose systématiquement des surcoûts. En conséquence, la valorisation matière des déchets en France est figée à l'heure actuelle autour des 45 % [BIO 11].

Plusieurs outils d'aide à la décision pour la gestion des déchets dans le domaine du bâtiment sont proposés dans la littérature [BAN 11, BUH 07, DUM 04, FFB 16, SCH 98]. Mais aucun outil ne prend en compte tout le processus d'un chantier de déconstruction (de la dépose d'un matériau jusqu'à son traitement), limitant leur intérêt. En effet, en raison de la dépendance entre les phases (e.g. il est possible de valoriser un matériau uniquement s'il a été au préalable proprement déposé et trié), il est nécessaire de penser globalement l'acte de démolir/déconstruire. Il est aussi nécessaire de considérer plusieurs objectifs : limiter les coûts et les délais d'un chantier tout en augmentant sa performance environnementale. Dans cette optique, une modélisation multi-objectif de la stratégie de déconstruction est décrite dans ce papier. L'amiante n'est pas pris en compte dans cette modélisation, car le désamiantage est une activité complexe, qui est séparée de la déconstruction.

## 2. Modélisation de la stratégie de déconstruction sous la forme d'un problème multi-objectif

### 2.1. Formulation du problème multi-objectif

La première étape de la formalisation d'un problème multi-objectif consiste à définir les différents objectifs. Les objectifs retenus sont le coût total du chantier (en euros), la durée du chantier (en nombre de jours) et le pourcentage de valorisation matière des déchets tel que défini dans la Directive-cadre 2008/98/CE [PAR 08] (en % massique). Ces objectifs sont influencés par 17 variables, appelées variables de décision, qui vont caractériser une stratégie de démolition. Les variables concernent les ressources (humaines et matérielles) affectées à chaque phase du chantier (curage, démolition...), le type de traitement des déchets (stockage, centre de tri, site de valorisation matière) et le choix des bennes utilisées sur le chantier. Une stratégie de déconstruction est ainsi définie par ces variables de décision. Les contraintes du chantier peuvent être intégrées au modèle en modifiant la valeur maximale que les variables peuvent prendre. Par exemple, pour un chantier avec une petite surface, le nombre maximum d'opérateurs (variable de ressources humaines) peut être manuellement réduit, afin que le modèle propose des stratégies cohérentes et réalisables.

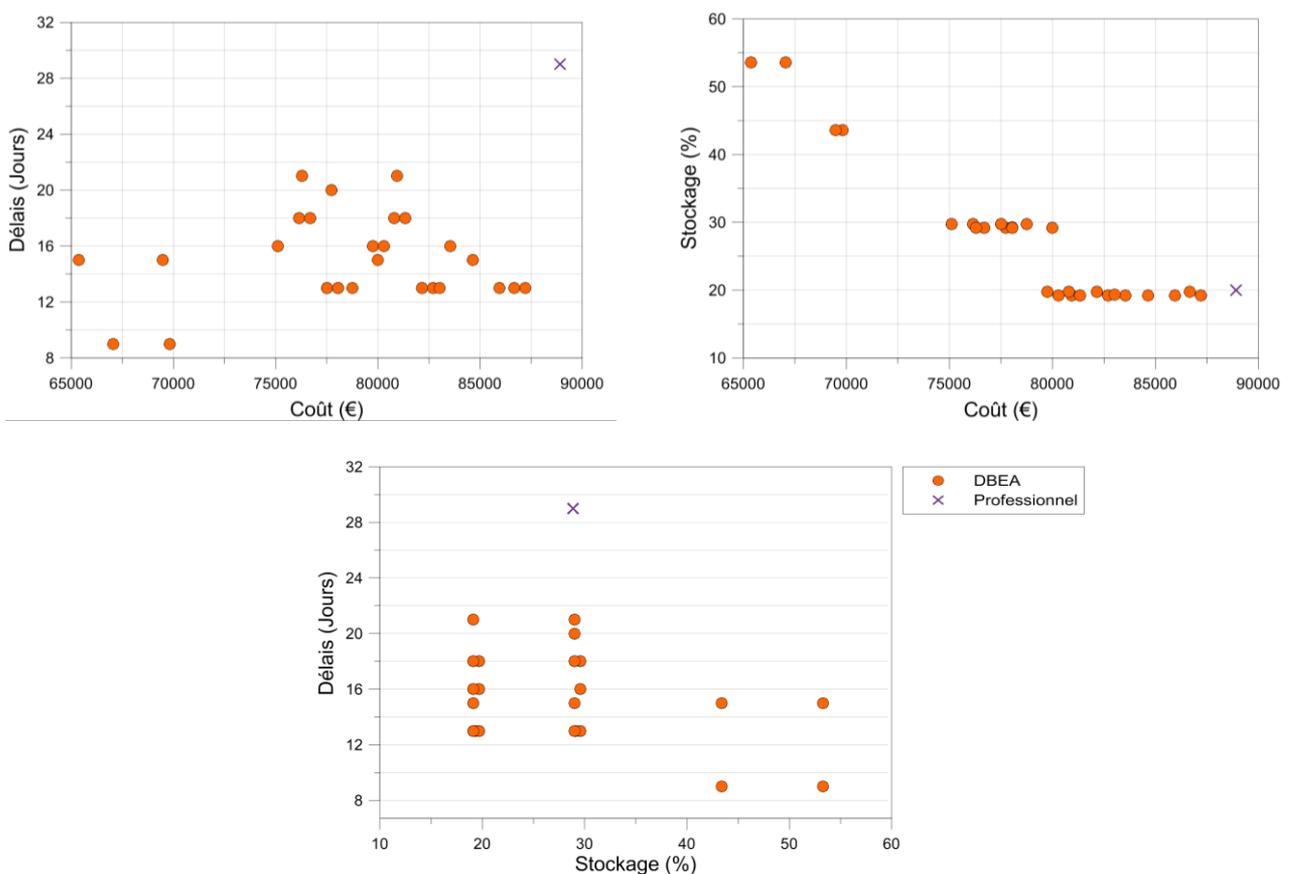
Les objectifs sont calculés à partir des variables de décision via des équations « métier ». Ces équations ont été définies à partir de l'analyse des chargés d'étude en charge de définir la stratégie de démolition pour chaque chantier. Le coût, par exemple, prendra en compte les frais d'installations avant le démarrage du chantier, le nombre et la durée de présence du personnel, le nombre et la durée d'utilisation du matériel, le transport et le traitement des déchets. Le coût et la durée sont à minimiser tandis que le pourcentage de valorisation matière est

à maximiser. Pour la résolution du problème multi-objectif, le pourcentage de valorisation matière est transformé en son inverse, i.e. minimiser le pourcentage de mise en stockage.

La résolution du problème multi-objectif consiste à identifier les combinaisons de variables de décision qui offriront des stratégies optimisées du point de vue des objectifs définis. Étant donné le nombre de combinaisons possibles et la complexité des relations (non linéaires), l'approche par métaheuristique a été préférée à la résolution exacte du problème d'optimisation. L'algorithme sélectionné pour rechercher les solutions optimales est DBEA (Decomposition-Based Evolutionary Algorithm) [ASA 15], dont la méthode de décomposition du problème a démontré son efficacité pour résoudre différents problèmes multi-objectif complexes tels que la construction d'un parc éolien [BIS 18], la gestion du bruit généré par les trafics aériens [HOH 18], la meilleure interprétation d'images médicales [SAR 17]...

## 2.2. Application du modèle sur un cas d'étude réel

Le modèle a été testé sur un cas d'étude réel, donné par l'entreprise partenaire (BDS). L'étude concernait la démolition de sept bâtiments mitoyens majoritairement de niveau R+1 et situés dans le centre-ville d'une commune. Le modèle a été implémenté sous Java avec l'utilisation d'une librairie gratuite et ouverte d'algorithmes évolutionnaires multi-objectif [HAD 17]. La figure ci-dessous (Figure 1) présente le front de Pareto (i.e. ensemble des solutions non dominées) donnés par DBEA, ainsi que la solution définie par le chargé d'étude (croix).



**Figure 1.** Solutions optimales de l'algorithme DBEA selon les trois objectifs « Coût, Délais et pourcentage de mise en stockage ».

La solution du chargé d'étude n'appartient pas au front de Pareto ; il existe des solutions fournies par l'algorithme qui dominent la solution experte sur les trois objectifs. De plus, 47 % des solutions trouvées par DBEA offrent un pourcentage de valorisation matière à minima équivalent, mais pour des coûts et des délais inférieurs. Ces résultats permettent de (a) montrer que recycler plus n'est pas systématiquement accompagné de surcoûts (b) démontrer que le recours à un modèle d'optimisation multi-objectif permet de trouver des solutions meilleures que celles obtenues par la simple expertise. Afin de vérifier l'opérationnalité des solutions trouvées, elles ont été présentées au chargé d'études ; celui-ci a confirmé l'intérêt de certaines de ces solutions.

### 3. Conclusion et perspective

L'application du modèle a démontré l'efficacité de la méthode à obtenir des stratégies de déconstruction plus performantes en environnement sans trop affecter le coût, ni la durée du chantier. Toutefois le modèle présenté doit être complété afin de répondre au défi environnemental de la démolition. Plusieurs points sont en jeu :

- La prise en compte de toutes les spécificités envisageables sur un chantier (ex : plus de matériel)
- L'étude de tous les déchets potentiellement présents dans un bâtiment, et de leurs traitements
- Une évaluation de la performance environnementale par le recours à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) sur l'ensemble d'un chantier de déconstruction, la valorisation matière n'étant pas un indicateur suffisant pour évaluer l'impact environnemental d'un chantier de démolition.

Ces trois points font l'objet de travaux en cours et devraient permettre d'obtenir rapidement un modèle plus complet, plus fiable et intégrant une réelle évaluation environnementale. Il sera alors expérimenté avec des projets réels afin de le valider. Finalement, afin d'aider le chargé d'étude à choisir une solution optimale parmi les solutions appartenant au front de Pareto, il est prévu d'avoir recours à une approche d'optimisation interactive. Un module interactif sera donc ajouté à l'algorithme d'optimisation.

### 4. Bibliographie

- [ASA 15] ASAFUDDOULA, M., RAY, T., SARKER, R., "A decomposition-based evolutionary algorithm for many objective optimization", *IEEE Transactions on evolutionary computation*, vol.19, n°3, 2015, p. 445–460.
- [BAN 11] BANIAS, G., ACHILLAS, C., VLACHOKOSTAS, C., Moussiopoulos, N., PAPAIOANNOU, I., "A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste", *Waste Management*, vol. 31, n°12, 2011, p. 2497–2502.
- [BIO 11] BIO INTELLIGENCE SERVICE, ARCADIS, IEEP, Service contract on management of construction and demolition waste, European Commission, 2011.
- [BIS 18] BISWAS, P., SUGANTHAN, P.N., AMARATUNGA, G., "Decomposition based multi-objective evolutionary algorithm for windfarm layout optimization", *Renewable Energy*, vol. 115, 2018, p. 326–337.
- [BUH 07] BUHLER, T., BUHE, C., BERDIER, C., BOSCATO, J-F., "Pertinence et faisabilité d'une application d'aide à la planification/gestion de déchets de chantier : Du chantier à la gestion territoriale", *25èmes rencontres de l'AUGC*, Bordeaux, 23-25 mai 2007, p.1-8.
- [CGD 11] COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, Déchets gérés par les établissements du bâtiment : quantités et modes de gestion en 2008, *Observation et statistiques : Logement et construction*, n°231, Juillet 2011, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.
- [CHA 16] CHÂTEAU, L., Fiche technique : Déchets du bâtiment, ADEME, 2016.
- [DUM 04] DUMONT, A., JACQUET, A., BOURGE, C-E., GOSSELIN, P., INGELAERE, B., LEGRAND, C., MERTENS, C., MéDéCo Métré Déchets Construction : Manuel de l'utilisateur, 2004, Office wallon des déchets.
- [FFB 16] FÉDÉRATION FRANÇAISE DU BÂTIMENT, FÉDÉRATION NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS, Déchets et excédents de chantier. <http://www.dechets-chantier.ffbatiment.fr/rechercher-centres.aspx> (consulté le 17/03/2017).
- [HAD 17] HADKA, D., MOEA Framework, Java, 2017.
- [HOH 18] HO-HUU, V., HARTJES, S., GEIJSELAERS, L.H., VISSER, H.G., CURRAN, R., "Optimization of noise abatement aircraft terminal routes using a multi-objective evolutionary algorithm based on decomposition", *Transportation Research Procedia*, vol. 29, 2018, p. 157–168.
- [MEE 15] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, Article 79 de la loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, 2015.
- [PAR 08] PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL, Directive 2008/98/CE relative aux déchets et abrogeant certaines directives, *Journal Officiel de l'Union Européenne*, 2008.
- [SAR 17] SARKAR, S., DAS, S., CHAUDHURI, S.S., "Multi-level thresholding with a decomposition-based multi-objective evolutionary algorithm for segmenting natural and medical images", *Applied Soft Computing*, vol. 50, 2017, p. 142–157.
- [SCH 98] SCHULTMANN, F., PITZINI-DUÉE, B., ZUNDEL, T., RENTZ, O., "Développement d'un logiciel d'audit de bâtiment avant démolition", *Annales du bâtiment et des travaux publics*, Numéro d'Avril, 1998, 10 p.