



HAL
open science

Un modèle basé agent de l'économie circulaire des déchets issues de la déconstruction du bâtiment appliqué au territoire de la Métropole Européenne de Lille

K Chapuis, E Lemelin

► To cite this version:

K Chapuis, E Lemelin. Un modèle basé agent de l'économie circulaire des déchets issues de la déconstruction du bâtiment appliqué au territoire de la Métropole Européenne de Lille. Congrès International d'Économie Circulaire 2024 (CIEC-2024), Jun 2024, Montpellier, France. ird-04823993

HAL Id: ird-04823993

<https://ird.hal.science/ird-04823993v1>

Submitted on 6 Dec 2024

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.



Un modèle basé agent de l'économie circulaire des déchets issues de la déconstruction du bâtiment appliqué au territoire de la Métropole Européenne de Lille

E. Lemelin^a et K. Chapuis^b

^a *IMT Nord Europe*

^b *IRD - UMR 228 EspaceDev*

Auteur correspondant : kevin.chapuis@ird.fr

Le passage d'un modèle économique linéaire à un modèle économique circulaire vise à optimiser l'utilisation des ressources pour préserver le capital naturel (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Tout au long du XXe siècle, la mécanisation croissante de l'industrie de la démolition et la baisse de rentabilité des opérations de réutilisation des matériaux de construction ont entraîné une croissance significative de la production de déchets de construction et de démolition (DC&D) [6]. En 2018, le secteur de la construction et de la démolition (C&D) représentait 35,9 % (2,337 millions de tonnes) des déchets produits dans l'UE, ce qui en fait la première source de production de déchets d'après les données Eurostat. En France, 47,3 millions de tonnes de déchets de C&D ont été produites cette année-là. En réponse à ce problème, le concept d'économie circulaire (EC) est apparu dans la littérature académique au début des années 2000, devenant une catégorie clé de la politique publique dans des pays tels que l'Allemagne, le Japon, la Chine ou les Pays-Bas. La directive-cadre européenne sur les déchets 2008/98/CE fixe un objectif de 70% pour la réutilisation, le recyclage et la valorisation des matériaux des déchets non dangereux de C&D d'ici 2020. Conformément à cet objectif, le Parlement français a adopté une loi "Pas de déchets pour une économie circulaire" en 2020. Dans le secteur de la C&D, la déconstruction sélective est un moyen de mettre en œuvre les principes de l'EC en remplaçant la démolition des bâtiments par un processus qui sépare les matériaux en fonction des différents secteurs de traitement, de réutilisation et de recyclage [3,6,12]. Bien que les entreprises privées et les autorités publiques aient de plus en plus recours à la déconstruction sélective, peu de littérature académique aborde spécifiquement cette question. Certaines recherches se concentrent sur les nouvelles méthodes de déconstruction et la programmation [10]. Cependant, le développement de la déconstruction sélective implique une chaîne de valeur composée d'acteurs non seulement directement impliqués dans le chantier, mais aussi en amont et en aval [4]. L'engagement total des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et de l'assistance à maîtrise d'ouvrage spécialisée dans les questions d'EC est nécessaire dès la première phase de la déconstruction pour coordonner les différentes étapes et acteurs du chantier. De plus, une fois les matériaux déconstruits, leur traitement, leur

réutilisation ou leur recyclage peuvent impliquer toute une série de secteurs différents. Par conséquent, le développement de la déconstruction sélective concerne potentiellement de nombreux acteurs et emplois [5]. L'objectif est de déterminer la capacité d'une région/zone à générer des déchets de C&D et sa capacité à fermer les boucles dans l'industrie du bâtiment. L'accent est mis sur la main-d'œuvre qui manipule directement ces ressources, en travaillant sur les chantiers, en enlevant les éléments de construction, en les transportant vers un centre de traitement, en les triant et en les préparant pour leur recyclage, leur valorisation ou leur réutilisation.

Estimation des déchets C&D à l'échelle du territoire de la MEL :

L'analyse SIG a permis de visualiser les données par municipalité et par année, mettant en évidence les zones à fort et faible potentiel de démolition et les zones urbaines touchées [1]. Grâce à cette approche, les déchets de construction et de démolition (C&D) ont été quantifiés à l'aide de la méthode de calcul des taux géographiques (GRC). Cette méthode implique l'analyse de la distribution spatiale des dépôts de déchets, l'utilisation des permis de construire et de démolir, et des diagnostics de déchets pour les produits de construction et de matériaux de construction. Les quantités de déchets ont été estimées à l'aide de la méthode GRC et du SIG, en classant les déchets par type, par niveau de risque et par tissu urbain. Les résultats indiquent que près de 6 millions de tonnes de déchets de C&D ont été générés dans la MEL (Métropole Européenne de Lille) entre 2013 et 2022, les sites de démolition contribuant à hauteur de 73%, les nouvelles constructions à hauteur de 22% et les sites de rénovation à hauteur de 4% (article soumis et en cours de révision). Les déchets inertes dominent à 90 %, suivis des déchets non dangereux à 9 % et des déchets dangereux à 1 %. La répartition par tissu urbain a révélé que les maisons jumelées et groupées, les tissus commerciaux et les maisons de ville ou les tissus collectifs produisaient le plus de déchets. La méthodologie SIG a permis d'analyser la distribution des CDW par municipalité, fournissant des données pour évaluer le potentiel minier urbain et comprendre les dépendances matérielles. Elle a mis en évidence les défis à relever pour atteindre les objectifs de l'économie circulaire et de la responsabilité élargie du producteur (REP), qui ont débuté en France en 2023. Entre 2013 et 2022, les besoins annuels en matériaux de construction ont dépassé de 29 % à 35 % les ressources issues de la démolition et de la réhabilitation des bâtiments. L'analyse a également indiqué un taux de substitution potentiel de 41 % des nouveaux matériaux de construction par des matériaux primaires secondaires (MPS) dans la MEL, variant selon les municipalités et les typologies, étant plus élevé dans les communautés rurales et plus faible dans les communautés urbaines.

Qualification les acteurs dans le secteur d'activité de la C&D : Une méthodologie récente [11], identifie de manière exhaustive les acteurs de la chaîne de déconstruction sélective. Appliquée à la région de la MEL, qui couvre 671 km², 95 communes et 1,1 million d'habitants, elle joue un rôle clé dans la gestion des déchets de construction et de démolition dans un contexte métropolitain. À l'aide de la base de données SIRENE de l'INSEE, chaque établissement en France a été inventorié sur la base des codes d'activité économique alignés sur la classification française NAF. La méthodologie catégorise les acteurs en clients-entrepreneurs, entreprises de C&D,

collecte et traitement des déchets, et industries de débouchés, en utilisant des méthodes méticuleuses de sélection des codes et des références bibliographiques pour déterminer les types de déchets et les méthodes de recyclage potentielles. Les organisations à but non lucratif et les entreprises sociales, souvent classées en fonction de leurs missions sociales plutôt que de leurs activités économiques, ont posé un problème. Un recensement dans la région de la MEL a permis d'ajouter 10 établissements du secteur de la construction, affinant ainsi la base de données à 802 acteurs répartis dans 35 activités. L'objectif premier était d'estimer les capacités de traitement des déchets de démolition, en se concentrant sur les entreprises de C&D et de traitement des déchets responsables de la gestion de ces déchets. Cette estimation s'est appuyée sur la base de données ICPE, extrayant des données sur les types et les volumes de déchets, et a utilisé le DADS pour convertir les capacités en tonnes par heure de travail. Cette analyse méticuleuse visait à évaluer le ratio de capacité de traitement direct des ressources de la région, en fonction de la main-d'œuvre qui manipule directement les ressources.

Modélisation à base d'agent du secteur d'activité de la C&D : Sur la base de la qualification des acteurs et de l'estimation des déchets issue de la C&D, un modèle de simulation informatique a été développé afin d'explorer un ensemble de scénarios de viabilisation pour une transition vers une économie circulaire des déchets de la C&D pour le territoire de la MEL. Ce modèle à base d'agent a été développé à l'aide de la plateforme Gama [2] qui permet d'intégrer nativement les données SIG. L'objectif premier de ce modèle est de proposer une représentation synthétique des enjeux territoriaux pour une gestion plus soutenable dans le domaine de la C&D et ce à destination des aménageurs, collectivités et acteurs de l'économie locale. En découle une approche de modélisation basée sur les données et une description fine des enjeux territoriaux dans la simulation, démarche méthodologique à rapprocher des principes KIDS (Keep It Descriptive, Stupid) [8]. Ces principes ont été choisis dans la mesure où ils permettent au modèle de produire des résultats de simulation dans les termes métiers, c'est-à-dire en s'appuyant sur les indicateurs et évaluation du secteur.

Afin de mettre en oeuvre cette démarche, nous nous sommes appuyés sur les estimations des déchets de la C&D effectuée et de la qualification des sites à déconstruire pour définir l'environnement du modèle : tous les sites à déconstruire sont géolocalisés et la qualité et quantité de matériaux à déconstruire estimées à partir de la surface au sol, nombre d'étage et la typologie de tissu du bâti. Par la même occasion, les entreprises du secteur de la C&D ont été géolocalisées sur le territoire de la MEL et l'ensemble de leurs caractéristiques et capacités issues de leur qualification servent à l'initialisation de nos agents. Leurs attributs sont le nombre d'employés, le code NAF APE ainsi qu'un vecteur de capacités pour chaque type de déchet exprimé en tonne par heure par employé.

La dynamique du modèle est simple et fonctionne en deux temps : les entreprises consultent un marché de la déconstruction, souscrivent des contrats et y appliquent leurs capacités. Plus précisément, dans la première étape les entreprises du secteur consultent l'ensemble des demandes de démolition, de collecte et transport de déchets, de tri hors site de démolition, d'enfouissement ou de valorisation matière ou

énergétique. Chacune de ces tâches sont listées dans le vecteur de capacité des agents, avec des autorisations découlant du code identifiant le secteur d'activité de l'entreprise. Par exemple, les entreprises de *travaux de déconstruction* (code NAF APE 49.11Z) ne peuvent répondre qu'aux demandes de démolition, la ou les entreprises identifiées travaux de terrassement (code NAF APE 43.12A et 43.12B) souscrivent à des demandes de valorisation matière. Par ailleurs, les entreprises souscrivent à autant de demande possible compte tenu de la limite imposée par la disponibilité de leur employé. Par soucis de parcimonie, la gestion des demandes est faites de manière décentralisée, c'est à dire sans agent de régulation, aussi bien sur un plan horizontale (pas de concertation entre entreprise sur une demande) que verticale (pas de maîtrise d'ouvrage pour la gestion de l'ensemble du cycle de vie des matériaux). A l'initialisation du modèle, seules les demandes de déconstruction sont présentes. A mesure que les entreprises correspondantes y répondent, elles créent des demandes de collecte et transport et ainsi de suite sur l'ensemble du cycle de vie du matériaux jusqu'aux exutoires finaux, du réemploi/réutilisation, enfouissement et à la valorisation matière/énergie. La seconde étape de la dynamique du modèle consiste à itérer sur l'ensemble des demandes auxquelles l'entreprise a répondu afin d'appliquer leurs capacités (de démolition, collecte et transport, tri, etc.) à l'avancement des matériaux dans leur cycle de vie. La répartition des ressources humaines sur l'ensemble des demandes souscrites suit un principe simple de priorité à l'ancienneté du chantier. Sur chaque demande, l'entreprise alloue un nombre d'employés selon les principes suivants : pour chaque déchets l'entreprise cherchera à allouer assez d'employés pour déconstruire l'équivalent d'une benne (36 tonnes) ou à défaut le plus grand nombre possible s'en rapprochant; pour la collect et transport, chaque trajet nécessite un employé; pour le tri, l'enfouissement et la valorisation, il y a équirépartition de l'effort sur l'ensemble des déchets traités. Ces choix de modélisation ont été arbitré en l'absence de règles claires et, sur ce point, une validation avec les acteurs permettrait de consolider ces choix, et une analyse comparative d'algorithmes différents aiderait à déterminer leurs contributions respectives aux résultats du modèle.

Afin de guider l'exploration par simulation, Gama propose une interface permettant de définir facilement un ensemble d'indicateurs dynamiques. Ces capacités de visualisation nous ont permis de guider la vérification du modèle par simulation (le code produit effectivement ce que le modèle prescrit) et sert de base pour une analyse préliminaire empirique de la dynamique du modèle (le modèle produit des résultats attendus). Notamment, il a été confirmé que les seuls acteurs du territoire de la MEL, ne permettent pas de répondre à l'ensemble des demandes de déconstruction, en particulier sur les travaux de désamiantage et de curage sélectif d'ordre faible (premier en priorité de déconstruction comme les luminaires par exemple). Dans un second temps une exploration systématique est prévue : analyse de sensibilité, incluant une évaluation de la contribution des processus stochastiques et du nombre de réplica nécessaire pour en lisser les effets, ainsi que la contribution des paramètres à la variabilité des indicateurs de sorties, via les analyses de Sobol (Sobol, 2001) et Morris (Morris, 1991). Une démonstration du modèle de simulation est une discussion des résultats est prévu lors de la conférence.

Références :

- [1] Simba, C. M., Lemelin, E., Masson, E., Senouci, A. & Maherzi, W. A Data Processing Methodology to Analyze Construction and Demolition Dynamics in the European Metropolis of Lille, France. *Buildings* **13**, 2671 (2023).
- [2] Taillandier, P. *et al.* Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform. *Geoinformatica* **23**, 299–322 (2019).
- [3] Roussat, N., Dujet, C. & Méhu, J. Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis. *Waste Management* **29**, 12–20 (2009).
- [4] Tirado, R. *et al.* Component-Based Model for Building Material Stock and Waste-Flow Characterization: A Case in the Île-de-France Region. *Sustainability* **13**, 13159 (2021).
- [5] Gálvez-Martos, J.-L., Styles, D., Schoenberger, H. & Zeschmar-Lahl, B. Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling* **136**, 166–178 (2018).
- [6] Ghyoot, M., Devlieger, L., Billiet, L. & Warnier, A. *Déconstruction et réemploi : comment faire circuler les éléments de construction*. (Presses polytechniques et universitaires romandes, 2018).
- [7] Morris, M. D. Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments. *Technometrics* **33**, 161–174 (1991).
- [8] Edmonds, B. & Moss, S. From KISS to KIDS – An ‘Anti-simplistic’ Modelling Approach. in *MABS proceedings* (eds. Davidsson, P., Logan, B. & Takadama, K.) 130–144 (Springer, Berlin, Heidelberg, 2005). doi:[10.1007/978-3-540-32243-6_11](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32243-6_11).
- [9] Sobol, I. M. Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates. *Mathematics and Computers in Simulation* **55**, 271–280 (2001).
- [10] González-Sánchez, R., Settembre-Blundo, D., Ferrari, A. M. & García-Muiña, F. E. Main Dimensions in the Building of the Circular Supply Chain: A Literature Review. *Sustainability* **12**, 2459 (2020).
- [11] Cordrie, B. & Lemelin, E. Regional demolition waste treatment capacity: a case study based on the identification of building selective deconstruction value chain’s stakeholders. *European Journal of Social Impact and Circular Economy* **4**, 17–35 (2023).
- [12] Assefa, G. & Ambler, C. To demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings. *Sustainable Cities and Society* **28**, 146–153 (2017).