



HAL
open science

ETUDE SUR LA DEMOLITION ET LE RECYCLAGE DU BETON : OPTIMISATION DES PROCESSUS ET SOLUTIONS DE RECYCLAGE AVEC LE BIM

Kumanan Sathiyamoorthy, Jean Vareille, Omar Doukari, Jena Jeong

► **To cite this version:**

Kumanan Sathiyamoorthy, Jean Vareille, Omar Doukari, Jena Jeong. ETUDE SUR LA DEMOLITION ET LE RECYCLAGE DU BETON : OPTIMISATION DES PROCESSUS ET SOLUTIONS DE RECYCLAGE AVEC LE BIM. Congrès National de la Recherche en IUT 2017 (CNRIUT2017), May 2017, Auxerre, France. hal-01691393

HAL Id: hal-01691393

<https://hal.univ-brest.fr/hal-01691393>

Submitted on 23 Jan 2018

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.

ETUDE SUR LA DEMOLITION ET LE RECYCLAGE DU BETON : OPTIMISATION DES PROCESSUS ET SOLUTIONS DE RECYCLAGE AVEC LE BIM

Kumanan SATHIYAMOORTHY¹, Jean VAREILLE², Omar DOUKARI³, Jena JEONG³

¹ étudiant à l'ESTP, 28 Avenue du Président Wilson, 94230 Cachan

² Lab-STICC UMR 6285 - Université de Brest, IUT de Brest-Morlaix, département GMP, CS 93837 29238 BREST CEDEX

³ IRC, ESTP, 28 Avenue du Président Wilson, 94230 Cachan

THEMATIQUE–Environnement-Energie -Economie-Gestion

RESUME - Le **Building Information Modeling (BIM)** [1] [2] [3] est un outil efficace pour la modélisation et gestion des données du bâtiment qui permet un suivi complet d'un projet de construction, depuis la programmation et jusqu'à la démolition, tout en coordonnant les actions des différents acteurs : architecte, entreprise de construction, mainteneur, etc. Plusieurs travaux de recherche ont montré l'intérêt du BIM pour les phases de conception et d'exécution d'un projet, mais peu d'entre eux, si ce n'est aucun, ont abordé la démolition d'un bâtiment en utilisant le BIM. Ce projet vise à optimiser les procédés de démolition d'un bâtiment en permettant un recyclage des déchets et/ou une réutilisation des composants avec un meilleur chiffrage et moins d'effets indésirables sur l'environnement. Pour atteindre notre objectif, le BIM se présente comme une piste très prometteuse.

Mots-clés — *Building Information Modeling, Recyclage, Démolition.*

1. INTRODUCTION

Nous allons nous concentrer sur 2 aspects à travers cet article. Le premier consiste à étudier les techniques actuelles de démolition des bâtiments (section 2), le deuxième aspect présente le recyclage des déchets (section 3). Le projet n'étant pas encore terminé, nous nous limitons à présenter notre approche et quelques perspectives en conclusion, pour introduire le BIM dans le cadre de l'économie circulaire [4].

Cet article résume les points principaux d'un autre article actuellement en cours de soumission.

2. TECHNIQUES DE DEMOLITION DES BATIMENTS

Dans l'état actuel, le projet national Recybéton, néglige un certain nombre de facteurs dans le processus de recyclage du béton. En effet, dans le secteur de la démolition, il existe un certain nombre de procédés mécaniques utilisés dans la déconstruction du bâtiment. Cependant, ces procédés ont des impacts dans différents secteurs tels que l'environnement ou

l'économie. Il est donc nécessaire de connaître le fonctionnement et la planification qui existent dans la démolition afin de mesurer l'impact réel de ces procédés dans le cadre du développement durable.

2.1. Déconstruction d'un bâtiment

Dans le monde de la démolition, il existe différents procédés afin de déconstruire un bâtiment. Un certain nombre d'ouvrages traitent ce sujet [5] [6] [7], mais peu indiquent leurs impacts sur l'environnement. Dans la déconstruction, la démolition est généralement mécanique. On distingue trois catégories de matériels de démolition, soit : des mini engins (pelles et chargeur), des pelles hydrauliques (modification à partir de 10 tonnes), ou des outils de démolition (BROYEUR, PAIER ...)

L'organisation d'un chantier de démolition mécanique s'effectue en trois tâches :

- Tâche préparatoire : curage préalable des matériaux, retrait des matériaux contenant de l'amiante plomb, désolidarisation du bâtiment à démolir des bâtiments adjacents, et mise en place des protections.

- Tâche de démolition : utilisation d'une pelle de démolition avec pelle d'accompagnement, chargement sélectif des matériaux de démolition, déblaiement des infrastructures, et arrachage des fondations et des dallages.

- Tâche de nettoyage : rangement des différents déchets, enlèvement, et nettoyage.

Ainsi, la déconstruction suit une certaine planification, comme la construction, où le BIM joue aujourd'hui, un rôle très important, particulièrement en améliorant la coordination des différents acteurs. Cependant, dans le cas général, les entreprises de démolition n'ont pas de plan de démolition qui leur permettrait de mieux s'organiser et de calculer leurs impacts environnementaux.

2.2. Les différentes méthodes de démolitions

La démolition utilise différents procédés afin de déconstruire un bâtiment, voir tableau 1. Selon le bâtiment nous choisirons tel ou tel autre procédé. Ce choix est récapitulé dans le tableau 2 ci-dessous [7], il indique également différentes appréciations dans d'autres domaines tels que l'environnement ou l'économie.

Tableau 1 : outils et principes de démolition.

Technique	Différents procédés de démolition
Outils	Outils diamantés, Marteaux piqueurs et brise-roches, Boulet, Eclateurs hydrauliques, Vérin plat, Engins à godets (sables tableaux')
Principes	Câbles, Cadox ou Rock-Breaker, Explosifs, Lance à oxygène, Procédé par sapement

Tableau 2 : Critères de choix d'un procédé de démolition.

Ouvrages massifs	Ouvrages							Procédés de démolition
	Immeuble en maçonnerie	Ossatures en béton armé	Dalles ou parois de faible épaisseur	Dalles ou parois de forte épaisseur	Parois faible épaisseur	Ouvrages de grandes hauteurs	Ouvrages massifs en béton précontraint	
								Outils diamantés
								Marteaux piqueurs et brise-roches
								Boulet
								Eclateur hydraulique
								Vérins plats
								Engins à godets
								Câbles
								Canon à eau
								Cardox/Rock Breaker
								Explosifs
								Lance à oxygène

Ces deux tableaux sont importants pour l'introduction de la démolition dans le BIM, car les outils apparaîtront dans les menus proposés aux utilisateurs, alors que les ouvrages auxquels s'appliquent les outils seront décrits dans l'aide. Par ailleurs le chiffrage des différents impacts environnementaux correspondront à des macro-commandes internes à l'outil 5D, ou externes dans un logiciel tiers intégré au BIM.

2.3. Critères de démolition

A la suite de notre étude nous avons distingué des critères de démolition qui sont les procédés techniques (moyens mis en œuvre), l'environnement (énergie, santé, écosystème et d'autre), l'économie (coût financier) et la législation (permis de démolir, normes), voir figure 1.

3. RECYCLAGE DES DECHETS

Les déchets issus du BTP restent un problème de taille. En effet, le secteur du bâtiment représente environ 15% de la production de déchets du BTP, soit 50 millions de tonnes par an d'après le ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer. Mais, actuellement le béton recyclé utilise le procédé de concassage et doit être acheminé vers des centres de valorisation des déchets, ce qui nécessite un coût en transport et donc un dégagement en gaz à effet de serre. De plus, le processus de concassage nécessite un apport en énergie important puisqu'on passe de blocs de béton d'environ 1 m³ à des granulats de quelques cm³. Il est vrai que la valorisation du déchet de bâtiment est de 50%, mais le processus cache d'autres impacts négatifs sur l'environnement qui ne s'accordent pas avec le projet de Recybéton et principalement dans le cadre d'une économie circulaire.

3.1. Coût environnemental du transport du béton concassé

Dans cette étude nous essayons de mesurer l'impact environnemental du transport du béton à concasser vers les centres de valorisation [8]. Les centres de valorisations sont apparus dans le cadre du développement durable, pour lequel le gouvernement cherche à recycler le béton. Ces centres ont pour but de revaloriser les déchets du béton. Prenons un exemple d'un hôtel Kyriad à Cachan (23 Avenue Carnot, 94230 Cachan) qui fut détruit et dont on cherche à recycler le béton.

Dans un premier temps, nous cherchons un centre de valorisation le plus près du chantier de démolition. Dans notre cas, nous avons trouvé YPREMA (Centrale de recyclage de MASSY, Route de la Bonde, ZI de la Bonde, 91300 MASSY). Ce centre de valorisation se trouve être le plus proche, mais il faut savoir que tous les centres de valorisation n'acceptent pas tout type de déchet. Il y a une distance de 14,9 km entre le centre et le chantier. Nous considérons que l'Hôtel fournit 24 000 tonnes de déchets. En effet, selon la quantité de déchet le choix du véhicule varie. On observe, parmi les différents moyens de transport que l'ensemble articulé 40 tonnes PTRAMarchandises diverses/régional –Gazole routier est le véhicule émettant le moins de gaz de dioxyde de Carbone. Mais le transport des 24 000 tonnes sur la distance représente plus de 30 000 kg de CO₂ émis, soit 1,25 kg/tonne. C'est une quantité importante de CO₂ émise dans l'atmosphère, elle n'est pas négligeable comme le revendiquent certains rapports de centres de valorisation du béton. Par conséquent, on peut se demander s'il y a réellement un intérêt de les transporter vers ces centres de valorisation de béton.

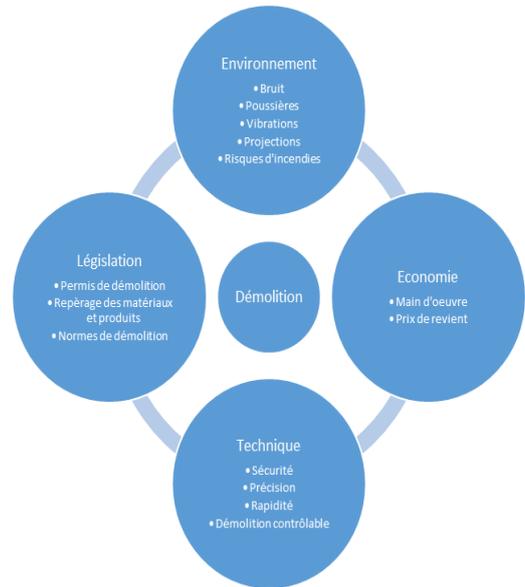


Fig.1 les quatre familles de critères de démolition.

3.2. Estimation du coût environnemental du concassage

Le secteur du BTP produit en France plus de 300 millions de tonnes de déchets chaque année. Ainsi, environ 200 millions de tonnes de déchets doivent être recyclés pour respecter l'objectif européen de 70% de déblais recyclés en 2020. Afin d'atteindre cet objectif des centres de valorisation ont vu le jour et se sont multipliés grâce au projet national Recybéton. Cependant, le procédé utilisé reste contestable puisque le processus de recyclage actuel nécessite de passer par une étape de concassage. Nous allons montrer que le concassage est un processus énergivore et que certains impacts environnementaux, économiques et sociaux sont sous-évalués dans leurs impacts environnementaux, économiques et

techniques. En effet, le recyclage permet de répondre à une des problématiques du BTP, celle de se fournir en granulats. Sans recyclage satisfaisant le besoin nécessiterait l'ouverture de nouvelles carrières, mais les ouvrir aurait des impacts négatifs du point de vue de l'environnement. D'où l'utilisation de granulats recyclés issus de béton en substitution aux granulats naturels. D'après une étude de construction carbone [9] l'extraction des granulats naturels produit 3 kg équivalent carbone pour une tonne de granulats, soit 11 kg CO₂/tonne, dont 0,6 kg C/tonne ou 2,2 kg CO₂/tonne rien que pour l'extraction brute, sans prendre en compte l'impact du transport jusqu'à l'emplacement du chantier. Comparons leur coût environnemental, économique et technique de la production de granulats. Pour le granulats recyclé il faut prendre en compte le concassage. En effet, au départ nous avons des blocs de béton issus de la démolition comme vu précédemment. De plus, tous les blocs de béton ne vérifient pas les normes pour être récupérés. Ces normes sont très contrôlées comme l'affirme Yprema dans leur rapport de développement durable : « La substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits ». Malgré ces exigences, regardons un autre impact de ce granulats recyclé.

Après la démolition, les déchets sont triés pour respecter ces normes, ces blocs de béton sont concassés à plusieurs reprises (Figure 2). Puis, un cisailage des ferrailles est réalisé suivi de la réduction des plus gros éléments. Les morceaux de plus petite taille sont séparés de la ferraille par un déferrailage magnétique par « overband » et passent par le concasseur à percussion qui favorise la diminution de la taille des granulats afin de respecter la norme. Ensuite, une phase de nettoyage pour éliminer les polluants par un « aquamotor ». Nous observons la présence d'un certain nombre de machines dans le processus de recyclage du béton. Ainsi, la technique n'est pas une simple tâche, elle nécessite des machines qui fonctionnent généralement à l'électricité entraînant ainsi un coût supplémentaire.

Selon la taille de démolition différents outils sont utilisés pour concasser le béton. Le premier est le concasseur sur pelle (figure 2) utilisé pour des démolitions de petites tailles. Il consomme 20 litres de carburant par heure pour 9 tonnes de granulats ce qui correspond à 7 kg équivalent CO₂ par tonne de granulats (ou 1,9 kg C/tonne). Pour des démolitions plus importantes, nous utiliserons plutôt le concasseur RM80 qui consomme 17 litres par heure pour 150 tonnes de béton au maximum par heure, soit 0.681 kg équivalent CO₂ par tonne de granulats. Pour des démolitions immenses, nous utiliserons des machines produisant environ 0,115 kg équivalent CO₂ par tonne de granulats, mais en énergie électrique selon le mix énergétique de la France, en Grande Bretagne cela ferait 2,53 kg CO₂/tonne.



Fig. 2 : De haut en bas, concasseurs : petit, intermédiaire et important [10]

Ainsi, ces machines concasseurs consomment une quantité de carburant non négligeable pour fabriquer du granulats à partir du béton, soit environ une production comprise entre 0,115 et 7 kg équivalent CO₂ par tonne de granulats produit, tandis que récupérer des granulats directement dans les ressources naturelles, n'émet que 3 kg équivalent CO₂ par tonne de granulats produit, sans prendre en compte le coût environnemental du transport. Il est vrai que les ressources de granulats sont relativement éloignées des chantiers (~100 km dans le cas présent) contrairement au centre de valorisation de béton comme Yprema. Au final, il faut prendre en compte la consommation du déferrailage magnétique, la machine de concassage et la machine de nettoyage pour déterminer le coût environnemental final du recyclage du béton. Mais il y a également d'autres impacts environnementaux, puisque les granulats recyclés nécessitent d'autres éléments comme le ciment, le sable et l'eau pour fabriquer du béton. En effet pour une même résistance et une rigidité égale une structure en béton recyclé nécessite jusqu'à 2 fois plus de béton qu'une structure en béton classique avec des granulats naturels. Le recyclage du béton sensé respecter l'environnement, continue à recourir à du ciment, mélange de calcaire et d'argile cuits, toujours extraits dans nos ressources naturelles. Or la production d'une tonne de ciment correspond à une émission d'environ 800 kg de CO₂ dans l'atmosphère. Il n'est hélas pas possible de l'extraire des bétons recyclés, pas plus que le sable. Ainsi, le processus actuel de recyclage permet de protéger certaines ressources, mais pas d'autres. Actuellement nous concassons du béton pour récupérer des granulats pour les incorporer à du nouveau béton. Comme la quantité de béton recyclé est très supérieure à celle d'un béton traditionnel pour un même usage, le maigre gain obtenu dans le recyclage des granulats est largement perdu dans l'emploi de ciment, de sable et d'eau supplémentaires. Il serait plus intéressant de garder le béton tel qu'il est avant le concassage, cela épargnerait le recours à une grande quantité de ciment. Il s'agit d'une voie inexplorée dans le projet de recyclage, Recybéton.

3.3. Réutilisation du béton sans passer par le concassage

Afin d'épargner des coûts de transports il serait intéressant de réutiliser pour la nouvelle construction, ou pour un ouvrage nouveau voisin du chantier de démolition, des blocs entiers de béton sain, qui seraient découpés de façon à pouvoir les incorporer à une nouvelle structure résistante à la compression ou au flambage. Pour pouvoir le faire intelligemment, il faudrait disposer des informations BIM de l'ouvrage à démolir, et adopter une méthode de découpage en vue d'un réassemblage différent. La flexibilité et la puissance des méthodes numériques actuelles suggèrent qu'un tel objectif pourrait être atteint. La réutilisation de blocs de taille métrique ou décimétrique, permettrait de réduire considérablement l'utilisation de ciment nouveau, les transports, l'énergie dépensée pour le concassage, les nuisances liées à la démolition, etc.

La maquette numérique va nous permettre de visualiser les différents impacts environnementaux, économiques voire sociaux dans le processus de démolition et de reconstruction. Cet outil est bien adapté à notre étude puisqu'il dispose de toutes les informations concernant toute la vie de la construction. La déconstruction n'est autre que l'activité inverse de la construction. En effet, les données nécessaires à notre étude pourront être déterminées via cet outil comme par exemple la quantité de béton d'un bâtiment (Kyriad). Actuellement, nous travaillons sur les deux points suivants :

Comparer un bâtiment recyclé via le processus classique et un autre construit en réutilisant des blocs de béton provenant du bâtiment détruit,

Déterminer le procédé de démolition ayant le meilleur rapport en termes d'impacts économiques, techniques, sociaux et environnementaux.

Le but étant de voir, si le processus actuel de recyclage Recybéton est plus intéressant que la récupération du recyclage de blocs de béton.

4. CONCLUSION

Le BIM révolutionne, depuis son apparition, la manière de construire et ne cesse de modifier les rôles et interactions entre les différents acteurs de la construction. Au-delà de la phase de conception, le BIM vise à améliorer l'efficacité de la construction et à être utilisé tout au long du cycle de vie de l'ouvrage, allant de sa conception jusqu'à sa démolition, en passant par sa construction, son exploitation et sa rénovation.

Cependant, la maquette numérique créée lors de la phase de conception du projet, utilisée et enrichie jusqu'à l'exploitation de l'ouvrage, semble être oubliée durant la démolition.

Pourtant, le BIM pourrait permettre une déconstruction durable de l'ouvrage : minimum de déchets possible, recyclage efficace des matériaux...

La première partie du projet étant terminée, nous devons souligner l'existence de différents procédés de démolition ayant plus ou moins d'impacts sur différents domaines tel que l'environnement. Il serait intéressant de réutiliser ces informations dans un modèle BIM afin d'améliorer la gestion de la démolition en respectant l'environnement ou encore l'économie.

Plus concrètement, la prochaine étape du projet consiste à mesurer le coût environnemental du concassage. Pour cela, nous allons comparer la construction d'un bâtiment avec du béton recyclé de manière classique, via le concassage, et la construction du même bâtiment avec du béton ordinaire.

Dans un second temps, afin de tirer pleinement profit des bienfaits du BIM, nous essaierons de :

- représenter les processus de démolition dans un langage de modélisation unifié (UML, SysML...) [11] interprétable par l'ordinateur et permettant ainsi un traitement (évaluation, comparaison, optimisation...) automatique,

- définir des critères (économiques, environnementaux, sécurité...) permettant de comparer de façon qualitative et quantitative les différents processus,

- utiliser les approches 4D (dimension temporelle) et 5D (dimension économique), pour intégrer les processus et critères d'évaluation dans la plateforme de modélisation et simulation BIM, sous forme de « plug-in », afin de permettre les tests, évaluations et optimisation des différents scénarios, en tenant compte de la typologie de l'ouvrage,

- la démolition à partir du BIM se définit dès la phase de conception du projet. Assurer la pérennité de l'information sur le ou les meilleurs processus de construction possibles et ainsi simplifier le travail lors de la démolition. Le BIM va de ce fait nous permettre dès sa phase de mise en place jusqu'à ses modifications tout au long de la réalisation de l'ouvrage d'anticiper le futur et la fin de vie de l'ouvrage,

- pour les ouvrages ne disposant pas de BIM, définir une approche innovante pour la caractérisation sémantique de nuages de points 3D relevé par un Scanner Laser, et permettre ainsi l'évaluation et l'optimisation de la déconstruction.

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Eastman, P. Teicholz, K. Sacks et R. Liston, *BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, New Jersey: 2nd ed., John Wiley & Son Inc., 2011.
- [2] O. Celnik, E. Lebègue et G. Nagy, *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. 1ère ed., Paris: Eyrolles & CSTB, 2014.
- [3] B. Naudet, O. Doukari et R. Teulier, «Merging IFC-based BIM models. A new paradigm and co-design support tool,» 1st international BIM Conference, Glasgow, UK, September 2016.
- [4] E. Commission, «Closing the loop - an EU Action Plan for the Circular Economy, Com(2015) 614 Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.» European Commission, Brussels, 2015.
- [5] J.-F. MILLERON, «La démolition -Techniques et métiers connexes», *Technique de l'ingénieur, REF C9005 V1 La démolition-Techniques et métiers connexes*, 10 mai 2009.
- [6] F. B. J.-P. M. Jean-Claude PHILIP, *Guide pratique de la démolition des bâtiments*, Eyrolles, 2006.
- [7] P. CORMON, «Procédés de démolition des ouvrages,» *Technique de l'ingénieur : Ref C2190 V1*, 10 mai 1985.
- [8] J. Jeong, J. Vareille, N. L. H Ramérani et F. Schmidt, «Lean modeling proposal for recycling concrete application in civil engineering constructions,» *LCA in practice*, novembre 2011, Lille, 2016.
- [9] «Construction carbone. Recyclage du béton – valorisation de granulats et émissions de GES. URL: <http://www.construction-carbone.fr/recyclage-du-beton-valorisation-de-granulats-et-emissions-de-ges/>,» Avril 2012.
- [10] C. Carbone, «Construction Carbone. Concasseur 30 avril 2012. URL: <http://www.construction-carbone.fr/recyclage-du-beton-valorisation-de-granulats-et-emissions-de-ges/>,» 2012.
- [11] R. Polit-Casillas et S. Howe, «Virtual Construction of Space Habitats: Connecting Building Information Models and SysML» *AIAA Space 2013 Conference*, 2013.