



HAL
open science

L'épreuve du tri sur site des déchets de la construction

Albane Bauby, Daniel Florentin, Vincent Chatain

► **To cite this version:**

Albane Bauby, Daniel Florentin, Vincent Chatain. L'épreuve du tri sur site des déchets de la construction. Environnement, Ingénierie & Développement, 2022, 86, pp.3-13. 10.46298/eid.2021.8336 . hal-03313523v3

HAL Id: hal-03313523

<https://hal.science/hal-03313523v3>

Submitted on 5 Jan 2022

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.

L'ÉPREUVE DU TRI SUR SITE DES DÉCHETS DE LA CONSTRUCTIONAlbane BAUBY ^{a,b} ; Daniel FLORENTIN ^{a,c,*} ; Vincent CHATAIN ^b^a Mines Paris Tech, Institut Supérieur d'Ingénierie et de Gestion de l'Environnement (ISIGE), PSL University^b Univ. Lyon, INSA Lyon, Laboratoire DEEP (Déchets Eaux Environnement Pollutions), EA 7429, 69621 Villeurbanne, France^c Chercheur associé au Centre de Sociologie de l'Innovation (CSI)*Auteur correspondant : daniel.florentin@mines-paristech.fr**RESUME**

La transformation du secteur de la construction, plus gros producteur de déchets dans de nombreux pays, représente un enjeu majeur pour une diminution de l'empreinte matérielle de nos sociétés. Cependant, les déchets sont souvent mélangés sur les chantiers, triés seulement a posteriori dans des unités centralisées, ce qui diminue fortement la recyclabilité de certains matériaux. La mise en place d'opérations de tri directement sur les chantiers de construction est ainsi un enjeu d'importance, dont la diffusion demeure cependant décorrélée des bénéfices environnementaux qui lui sont associés. Cette faible diffusion du tri sur site révèle une faible connaissance des pratiques réelles de tri, qui reste une boîte noire opérationnelle comme académique. Cet article, via une recherche en partenariat avec une entreprise de la construction francilienne, permet de documenter la réalité des faibles pratiques de tri sur les chantiers de construction. Celle-ci est notamment associée à des doutes sur la viabilité économique de ce type de démarche. L'article propose une simulation simple pour tester l'intérêt économique du tri sur chantier, montrant une baisse des coûts de gestion des déchets pour les constructeurs jusqu'à 48%. Celle-ci est mise à l'épreuve de deux chantiers réels, montrant les défis que le tri sur chantier ouvre pour confirmer à la fois l'intérêt économique et la soutenabilité de la démarche de tri sur site des déchets de la construction.

MOTS-CLES : déchets – construction – tri sur site – pratiques professionnelles – Ile de France

ABSTRACT

The transformation of the construction sector is of utmost importance to diminish the material footprint of our societies, as it remains the main source of waste generation in many regions worldwide. Yet, construction waste is often mixed on construction sites, and only sorted out afterwards in centralised units, which largely impedes potential material recovery. The implementation of on-site sorting strategies is thereby crucial, although its development does not follow the environmental benefits that are associated with them. This poor diffusion of on-site sorting for construction waste reveals a poor knowledge of the reality of sorting practices on construction sites, which remains an academic and operational blackbox. Through an embedded research within a medium-size French construction company, this article documents the poor practices of sorting construction waste. This phenomenon is often associated with doubts, uncertainties and preconceptions regarding the economic viability of on-site sorting. This paper provides a simple model to test this preconceived idea and the economic interest of on-site sorting, showing that it results in the diminution of waste treatment costs by up to 48% for construction companies. One such result is contrasted with the monitoring of two experiments, where on-site sorting practices are developed, showing the important challenges this operationalisation entails to make the economic interest and the sustainability of the approach converge and coincide.

KEYWORDS: construction waste – on-site sorting – professional practices

1. INTRODUCTION

C'est devenu un quasi trope académique que de constater l'énorme impact matériel des déchets issus de la construction, dans un contexte où plusieurs études considèrent que les matériaux de construction constituent le deuxième plus gros volume de matériaux consommés après l'eau (Augiseau, 2019). De nombreux rapports ou articles détaillent les chiffres impressionnants de déchets générés annuellement par le secteur de la construction, qui atteignent par exemple aux Etats-Unis le double des volumes des déchets ménagers. En France, les déchets de la construction¹ sont ceux dont la production la plus élevée avec 224 millions de tonnes produites en 2017, soit 69% du total des déchets produits sur le territoire (Ademe, 2020). Même si la gestion des déchets de la construction n'est pas un objet complètement nouveau au niveau académique (Lu et Yuan, 2011), en lien notamment avec l'émergence à l'époque des discours sur le développement durable qui ont installé le déchet comme un objectif non seulement politique, socioéconomique mais aussi moral, on peut cependant constater que le secteur bénéficie d'une attention renouvelée, en raison d'un quadruple contexte.

Le premier est celui des débats sur les questions d'économie circulaire, qui convergent vers un plaidoyer pour une approche transformée de la gestion des déchets favorisant la minimisation du volume des déchets générés. Ces débats sont une chambre d'écho des travaux insistant sur le besoin crucial de changer les métabolismes urbains (Augiseau et Barles, 2017), qui recoupe la nécessité de repenser les différents flux rendant les activités humaines possibles.

Deuxième élément de contexte, la littérature scientifique ou professionnelle semble indiquer que les enjeux liés aux déchets de la construction sont particulièrement saillants dans les économies en forte croissance, notamment dans les régions d'Asie de l'Est et du Sud-Est, venant ainsi confirmer ce que Yuan et Shen avaient anticipé dès 2011 quand ils annonçaient que ces régions seraient concernées très lourdement par l'acuité des problèmes de ce secteur dans un futur assez proche (Yuan et Shen, 2011). Pour autant, si les questions de saturation liée aux déchets de la construction sont certes structurantes des problématiques de nombreuses villes asiatiques, elles peuvent tout autant être observées comme un

élément décisif dans un certain nombre de contextes européens.

Troisièmement, c'est cette acuité des enjeux de déchets qui a notamment conduit à la mise en place de réglementations plus strictes sur la minimisation des déchets en Europe, rythmée entre autres par le Paquet Economie Circulaire de la Commission Européenne. Ce processus est complété au niveau national, dans certains pays comme en France, autour des discussions actuelles sur l'extension au domaine de la construction de la responsabilité élargie au producteur (REP), prévue pour 2022. Elle rendrait le producteur d'un déchet de la construction comptable de l'intégralité de sa gestion et augmenterait l'intérêt économique pour les chantiers du bâtiment de mettre en place le tri à la source de leurs déchets. Du fait de cette nouvelle réglementation, le traitement des déchets du bâtiment sera financé dès l'achat des matériaux neufs chez les fournisseurs via l'ajout d'une écocontribution au prix de base de ces matériaux. Cette hausse de prix sera contrebalancée par la reprise gratuite des déchets à condition que ces derniers soient triés. Ainsi, pour ne pas être fortement impactés économiquement par cette REP, les chantiers n'auront théoriquement d'autre choix que de mettre en place le tri à la source directement sur leur site.

Enfin, ces enjeux de la construction sont aussi reconsidérés par le développement de bâtiments à faible consommation énergétique et d'objectifs réglementaires visant à réduire l'impact carbone et matériel du secteur. Cette orientation du secteur de la construction agit comme un levier permettant d'encourager la mise en place ou l'adoption de produits écoconçus par les membres de la chaîne d'approvisionnement de la construction, aussi bien par les producteurs, les propriétaires, les contractants ou les entreprises de construction.

Ces éléments de contexte rendent les pratiques de tri des déchets de la construction d'autant plus importantes qu'elles contribueraient ainsi à la fois à la minimisation des déchets et à une deuxième vie ou à un usage potentiellement circulaire d'une partie d'entre eux. Historiquement, le tri s'est essentiellement effectué dans ce secteur via des installations centralisées, qui permettent d'avoir un processus industrialisé pour gérer ces flux. Cependant, ce type de solutions reste très marqué par une logique dite de bout de tuyau (end-of-pipe). La minimisation des déchets peut en réalité tout à fait se penser et s'exercer directement à la source de production du déchet, en prêtant attention à des

¹ Qui, dans le droit français, conformément à l'ordonnance 920 de juillet 2020 englobe « les déchets produits par les activités de

construction et de démolition, y compris les activités de rénovation, des secteurs du bâtiment et des travaux publics. »

pratiques de tri à la source, et notamment le tri sur site des déchets de la construction. Cette pratique du tri sur site des déchets de la construction, si elle semble conceptuellement assez simple puisqu'il s'agit d'une pratique de tri à la source, demeure encore largement une boîte noire dans la recherche académique, pour notamment en saisir la complexité et la réalité opérationnelle. Les différents travaux scientifiques s'intéressant au sujet (Chethana et al., 2020 ; Ma et al., 2020) soulignent combien ce tri sur site fait l'objet d'une idée reçue très répandue chez les développeurs urbains, selon laquelle le tri sur site ne serait pas viable, alors même que celui-ci n'a jamais été réellement documenté et étudié en détail. Une grande partie de la littérature académique sur le sujet propose des analyses de données secondaires sur la production et gestion des déchets. Notre approche se veut différente : par l'entremise d'un projet de recherche opéré en immersion au sein d'une entreprise de la construction de taille moyenne de la région Ile de France entre mai et novembre 2020, nous avons pu produire des données empiriques de première main sur les pratiques de tri sur site dans le domaine de la construction. Ce travail permet notamment de mettre le doigt sur les pratiques inverses, de non-tri, et d'essayer d'identifier les obstacles à la mise en place d'un tri sur site. Par ce biais, notre travail cherche à combiner trois apports. Tout d'abord, il permet d'illustrer, dans ce domaine, un phénomène classique, à savoir l'écart entre les réglementations et la réalité des pratiques ; il le fait dans le contexte d'un pays industrialisé, ce qui est moins courant que la littérature sur ces distorsions dans des contextes de pays émergents, et met de ce fait l'accent sur l'ampleur des transformations encore nécessaires pour transformer radicalement la gestion des déchets et la rendre pleinement soutenable. Ensuite, la position de chercheuse embarquée d'une des auteurs de cet article a également permis, à partir des données primaires recueillies, de pouvoir tester l'idée reçue du manque de viabilité économique du tri sur site. Un modèle simple, présenté plus loin, permet de passer cette idée reçue à l'épreuve du réel dans le contexte francilien. Enfin, cette position a également permis de tester la mise en place du tri sur site dans deux projets de construction, et de voir en quoi elle constituait une épreuve pour les différents acteurs de la filière et notamment du chantier.

2. CONTEXTE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Tri sur chantier

La littérature scientifique d'origine académique ou industrielle souligne la complexe articulation du tri sur chantier et de l'économie circulaire. Les pratiques de tri dans la gestion des déchets de la construction sont souvent confinées à une liste de « best

practices », alors qu'elles pourraient être considérées comme un élément de forte transformation dans les stratégies de minimisation des déchets (Yuan et al., 2013).

Le tri sur chantier n'a rien de nouveau, mais la pratique a atteint une sorte de *momentum* aussi bien académique qu'opérationnel au cours de la dernière décennie, essentiellement parce qu'elle a été considérée comme une pratique essentielle dans la mise en place de pratiques d'économie circulaire et un pas décisif en termes de gestion environnementale des déchets de la construction (Ma et al., 2020). En permettant une séparation précoce des éléments, l'approche du tri sur site contribue à diminuer le risque de contamination par les matériaux dangereux ou autres corps étrangers (Williams et al., 2014). Dans de nombreuses études provenant de façon prépondérante de cas en Asie du Sud-Est, le tri sur site est ainsi analysé comme un mécanisme qui devrait contribuer à une amélioration du réemploi et des niveaux de recyclage, mais aussi à une réduction des coûts de traitement (Poon et al., 2001 ; Wang et al., 2010). C'est ce qui explique qu'une telle pratique soit alors considérée par certains travaux comme l'une des pratiques les plus efficaces pour diminuer la production de déchets et augmenter la récupération de matière (Hossain et al., 2017).

Cependant, malgré sa contribution environnementale apparente, le tri sur site ne semble pas aussi développé que cet apport environnemental pourrait le laisser envisager. Si le cas de Hong-Kong est très largement documenté dans la littérature académique, avec l'adoption de réglementations encadrant la pratique du tri sur site dès 2006 et sa mise en place (Yuan et al., 2013), l'examen d'autres exemples ne montre pas une tendance similaire à ce cas localisé. Ma et al. (2020) rappellent qu'il n'y a que très peu de traces de la mise en place du tri sur site en Chine, en listant les recommandations gouvernementales en la matière tout en soulignant le fait qu'il n'existait pas de cas de mise en place. Même dans le cas pourtant très avancé de Hong-Kong, où un système de pénalisation financière a été mis en place quand les pratiques de tri sur site étaient absentes, les développeurs urbains semblent toujours fortement réticents à l'intégration du tri sur site dans la gestion des déchets de la construction (Poon et al., 2013 ; Chethana et al., 2020). Pour des développeurs souvent désireux de faire reconnaître la qualité des produits construits, notamment via des certifications ou des labels attestant d'un faible impact environnemental de la construction, du type BREEAM ou LEED, le tri sur site est mis en miroir d'autres pratiques de construction, souvent considérées comme moins chères à mettre en œuvre et

rapportant plus de points pour la certification. Là où des analyses de coûts-bénéfices environnementaux devraient favoriser le tri sur site, les analyses en coûts-bénéfices économiques tendent à privilégier d'autres éléments dans le processus de construction, du côté des développeurs (Chethana *et al.*, 2020). Il y a, de ce point de vue, un besoin important de démontrer la viabilité économique du tri sur site dans la gestion des déchets de la construction, car la perception est largement partagée par les praticiens de la construction que la mise en place de pratiques de gestion des déchets, et en particulier de tri sur site rend les projets plus onéreux (Lu et Yuan, 2011), et menace de ce fait l'équilibre financier des opérations urbaines. Cela rappelle que le tri sur site n'a pas qu'une valeur environnementale, mais est bien aussi ancrée dans une logique lui conférant une valeur économique : si l'on peut en démontrer la viabilité économique, le tri sur site trouverait alors une place différente dans la chaîne de valeur, venant illustrer une forme de *reverse logistics* (Ramezdeen *et al.*, 2015).

2.2. Et si on se trompait de question ?

Une large part de la littérature académique sur le tri sur site l'insère dans le déploiement des principes architectoniques de la gestion des déchets de la construction, à savoir les politiques de « 3 R » (réduire, recycler, réemployer), considérés comme les trois principales politiques acceptables en la matière (Huang *et al.*, 2018, Chethana *et al.*, 2020) ou le développement de plans de gestion des déchets. Les récents développements technologiques vont dans le même esprit, dans le but d'analyser le potentiel de nouveaux outils pour aider à une meilleure classification des déchets et à leur gestion plus fluide via des outils du type BIM (Guerra *et al.*, 2020). Tous ces outils sont censés améliorer l'efficacité du processus et contrecarrer la perte de productivité dirimante associée aux pratiques de tri sur site.

Si ces considérations sont importantes pour améliorer un certain nombre d'aspects de la gestion des déchets, elles négligent cependant une condition préalable essentielle : une claire connaissance des pratiques réelles sur les sites de construction. Peu d'études ont vraiment fait ce lien avec les réalités opérationnelles des pratiques quotidiennes sur le chantier. Marrero et Ramirez-De-Arellano (2010) ont par exemple développé un modèle pour estimer les coûts de construction et inclure les pratiques de déchets lors de la construction et de la démolition : leur approche ne s'appuie cependant pas sur l'observation de la réalité des pratiques de tri, mais sur les coûts attribués en considérant une bonne application des principes de tri. La question de la

connaissance de ces pratiques et de l'enjeu de données fiables est parfois évoquée (Ngoc *et al.*, 2020) et souvent attribuée à tort aux seuls cas des villes des Suds. Pourtant, la littérature grise fournit quelques éléments qui soulignent cette faible connaissance (Bellastock, 2018 ; CERC Ile de France, 2013 ; FFB, 2019 pour les cas français) : les données disponibles sur la gestion des déchets de la construction ne reflètent que très faiblement la réalité des pratiques de tri et il y a là un déficit de connaissance à combler. Comme le décrit d'ailleurs Augiseau (2019), de récentes études en Ile de France montrent que, sur un panel de 200 entreprises de la construction, 70% ont des problèmes avec la gestion des déchets, et seules 10 à 15% d'entre elles contrôlent et supervisent véritablement cette gestion des déchets. Cela se traduit par des questions qui peuvent sembler au premier abord assez basiques, mais peinent à trouver des réponses du même ordre : de quel type de déchet s'agit-il ? Où va-t-il ? Comment et pourquoi dois-je le gérer ? Cela confirme l'importance de se pencher sur ce trou de connaissance en matière de réalité des pratiques de tri, qui permettrait également d'intégrer ces pratiques dans la production de valeur du domaine de la construction de manière plus stratégique.

2.3. La gestion des déchets de la construction : une problématique territoriale désordonnée

L'amélioration de la gestion des déchets dans le secteur de la construction a longtemps été nourrie par des études mesurant les marges potentielles d'amélioration via une liste de pratiques censées fonctionner (cf. Hasmori *et al.*, 2020 pour une analyse complète). Ce type d'approche est en fait très congruent avec une vision déterritorisée de la gestion des déchets de construction. Le développement de pratiques de gestion des déchets visant des formes de circularité nécessite de prendre en considération comment elles sont socialement et spatialement situées, et la manière dont les sites de construction varient d'un lieu à un autre en termes de design, de contraintes de site, d'espaces environnants ou de types de construction (Maués *et al.*, 2020). Ces facteurs n'ont pas qu'une influence sur la production de déchets, mais aussi sur leur prise en main et la possibilité de développer des pratiques de tri sur site. Le tri sur site rend la gestion des déchets dynamique et non statique, et également dépendante de comportements humains.

De nombreuses études analysent ces comportements humains par rapport au tri de manière morale (ou déterministe), les évaluant en termes de problème d'attitude (Yang *et al.*, 2020), notamment chez les concepteurs de projets, ou de volonté (Ann *et al.*, 2013) concernant la gestion des déchets de la

construction. Nous suggérons d'adopter une approche plus constructiviste de ces pratiques, davantage ancrée dans les études sur les changements sociotechniques (Moss, 2014). Cela implique de considérer notamment que les pratiques de gestion des déchets sont inscrites dans « a largely messy, contested and discursive process strongly framed by contexts of action and contingent events »² (Moss, 2014). Dans ce cadre, une analyse des pratiques de tri sur site appelle une compréhension du contexte sociopolitique et régulateur d'un projet de construction, et une attention portée aux pratiques des personnes travaillant sur le site pour révéler l'amplitude de la « messiness » (le caractère intrinsèquement désordonné) de cette gestion des déchets de la construction et les frictions qui lui sont inhérentes.

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin de pouvoir saisir ces enjeux aussi bien opérationnels que cognitifs, nous avons développé, entre mai et novembre 2020, un protocole de recherche embarquée au sein d'une entreprise de la construction française ordinaire, de taille moyenne. Cette approche ne prétend pas à l'exhaustivité ou à la représentativité statistique : elle permet d'apporter des éclairages qualitatifs et situés sur des phénomènes perçus à grands traits dans des études plus quantitatives évoquant les problèmes de connaissance et de données sur les déchets de chantiers (FFB, 2019). Cette position nous a permis d'avoir accès plus facilement aussi bien aux sites et aux gens, ouvrant une fenêtre d'observation sur les pratiques sur site et une interaction avec les responsables de chantier. Elle a aussi été l'occasion de pouvoir mettre en place des transformations dans la gestion des déchets, en lien avec les régulations à venir mentionnées en introduction sur le tri sur site et l'économie circulaire. Dans ce cadre, notre méthodologie a donc suivi un processus en trois phases.

3.1. Enquête sur les pratiques de tri

Une enquête en ligne, adaptée de ce qui avait été fait par Kang *et al.* (2006) a été menée au sein de l'entreprise auprès des 70 encadrants de chantiers de construction courant septembre 2020. Elle a été complétée par des visites de sites. Le double objectif de cette enquête par questionnaire est de collecter de l'information sur la réalité des pratiques de tri par les personnes travaillant au quotidien sur les

chantiers et, en parallèle, de construire une stratégie permettant une mise en place du tri sur site.

Le panel a été interrogé sur deux points principaux : leurs profils (âge, expérience, type de site sur lequel ils ou elles travaillent) et leur connaissance, opinion et recommandation concernant le tri sur site.

3.2. Simulation économique du tri sur chantier

Une fois ces pratiques documentées, une évaluation économique de l'intérêt de développer le tri sur site a été développée. Ce modèle simple s'appuie sur les données primaires de déchets de la construction recueillies sur un site spécifique de construction (mélangés dans des bennes de 8m³), dans la banlieue parisienne, qui a été utilisé comme proxy pour la plupart des sites de l'entreprise. Les chantiers de construction travaillent en lien avec des prestataires de déchets, qui sont des entreprises de tri externes qui collectent les bennes pleines de déchets pour les trier sur leurs plateformes et envoient ensuite leurs déchets triés dans les filières de valorisation. Ce service a un prix qui inclut les coûts de transport et de traitement. Les bennes déjà triées sont de ce fait normalement moins chères que les mélangées (non triées). Dans cette optique, nous avons comparé trois prestataires de déchets travaillant avec des chantiers de construction, ayant des prix différents et situés dans des territoires différents de la région. Elles ont été comparées dans deux scénarios, chacun n'incluant que des containers de 8m³ :

- Scénario 1 : des bennes de déchets industriels banals (DIB) uniquement, ce qui correspond à des déchets mélangés
- Scénario 2 : des bennes spécifiques pour les déchets inertes, pour le bois, et pour les déchets industriels banals (DIB)

3.3. Mise en place du tri sur site dans 2 chantiers

Pour mesurer les impacts économiques réels du tri sur site, la pratique a été déployée avec le même protocole sur deux chantiers de construction de l'entreprise. Les deux sites choisis ont des objets similaires (logement) et sont situés en Ile de France. Le tri sur site est mis en place de manière proactive et volontaire sur l'un des chantiers (chantier 2), afin d'anticiper les obligations réglementaires à venir. Il est mis en place sur demande du client sur l'autre (chantier 1).

² Un processus largement chaotique, contesté et discursif, délimité par des contextes d'action et des événements contingents (traduction des autrices.teurs).

Le chantier 1 correspond à la construction de 300 logements, avec une centaine de personnes travaillant sur le chantier, et 8m³ de déchets produits quotidiennement. Ce site est dans une phase de travaux secondaires, caractérisée par une grande diversité de types de déchets et un grand nombre de sous-traitants (plombiers, électriciens, peintres, etc.). Le chantier 2 est plus petit ; 30 personnes sur le chantier construisent 90 logements et produisent 8m³ de déchets par semaine. Le site est dans une phase plus structurelle de travaux de gros œuvre, ce qui correspond à une plus faible diversité de déchets, sans la présence de sous-traitants.

Les deux chefs de chantier ont défini une zone de tri regroupant 4 à 5 bennes pour les inertes, le bois, les métaux, les DIB et les déchets dangereux. Chaque benne est identifiée par une pancarte portant un code couleur qui indique les types de déchets qu'elles sont destinées à recevoir. Une réunion additionnelle a été organisée avec les personnes travaillant sur le chantier pour leur présenter l'aire de tri et détailler les gestes à accomplir. L'expérimentation a été suivie pendant trois mois.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Enquête sur les pratiques de tri

Sur les 70 conducteurs de travaux sollicités, 53 ont participé à l'enquête, représentant 20 chantiers de construction différents, ce qui en fait un échantillon très représentatif des pratiques qui peuvent être observées dans cette entreprise ordinaire de la construction, dans des configurations très variées. Trois points principaux peuvent être extraits des réponses au questionnaire, qui révèlent les disjonctions importantes entre les réglementations officielles et la réalité des pratiques opérationnelles.

Les réponses au questionnaire (Figure 2) mettent en lumière que les pratiques de tri sont tout sauf une pratique évidente. Seuls 64% des conducteurs de travaux disent trier les déchets dangereux, alors que ce tri est obligatoire légalement depuis 2010 (article L541-7-2 du code de l'environnement).

Cela est convergent avec la littérature grise, d'après laquelle seule une part marginale des déchets de la construction est réellement contrôlée (CERC Ile de France, 2013). Cela explique les importants volumes de déchets qui ne sont pas différenciés, mais seulement mélangés (figure 1), même lorsqu'ils sont considérés comme dangereux pour des questions de sécurité, d'environnement ou de santé (et en premier lieu pour les personnes qui travaillent sur ces chantiers).



Figure 1 : Exemple de faibles pratiques de tri sur un site de construction (Copyright : Bauby, 2020)

Le niveau relativement élevé de tri des métaux (64% des conducteurs de travaux disent le pratiquer) est aussi un indicateur intéressant d'une pratique qui s'est largement normalisée et a été intégrée par les travailleuses et travailleurs de la construction, bien que ce tri ne soit pas légalement obligatoire. Mais son intérêt économique a été démontré depuis déjà un certain temps. Bien qu'ils représentent au moins la moitié des déchets produits et soient potentiellement intégralement valorisables à un coût peu élevé, les déchets inertes sont triés dans une minorité de cas (40%), montrant la faible importance donnée à ce type de déchet et à l'empreinte matérielle des déchets de la construction.

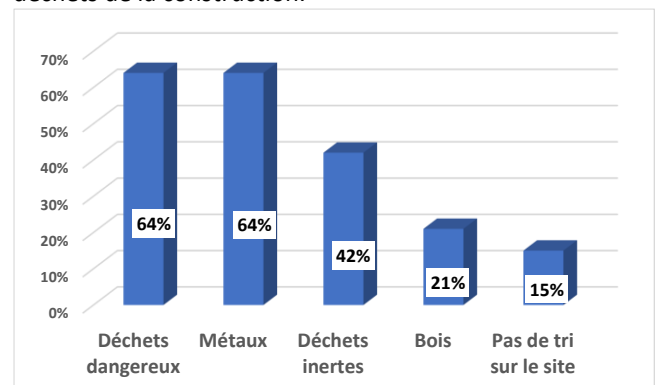


Figure 2 : Résultats du questionnaire sur les pratiques de tri sur les chantiers (qu'est-ce qui est trié sur le chantier ?)

Les profils des différents sites de construction montrent par ailleurs que la taille du chantier ne conditionne pas les pratiques de tri, puisque les pratiques de non-tri sont globalement aussi importantes dans les petits sites que dans les grands.

4.2. Pression foncière, organisation de l'espace et pratiques de tri sur site

Ces pratiques relativement disparates de tri des déchets ont été mises en perspective, dans le questionnaire, avec les éléments qui les

conditionnaient (Yang *et al.*, 2020). Là où d'autres travaux sur le cas de Hong Kong mettent en avant l'importance des réticences des conducteurs de travaux, qui seraient principalement dues à des raisons économiques, les résultats du questionnaire montrent que les principaux freins sont liés au manque d'espace disponible sur chantier ainsi qu'au travail supplémentaire engendré par la pratique. L'impact économique, lié au déclasserment des bennes mal triées, arrive seulement en troisième position.

Ainsi, les trois quarts des conducteurs de travaux justifient ou expliquent l'absence de tri sur site par le manque d'espace sur les chantiers (figure 3), phénomène souligné de manière encore plus massive sur les sites de grande taille (83% des sites de grande taille mettent en avant ce problème d'espace). Cela est relativement cohérent avec l'intense pression foncière qui caractérise la région Île de France, où tout site de construction est l'objet de nombreuses restrictions spatiales. Des visites sur différents sites ont confirmé le fait que les aires dédiées au tri des déchets étaient souvent négligées dans la phase de design du site. Cela laisse de ce fait, à l'avenir, une zone avec une forte marge de manœuvre pour transformer l'organisation des sites de construction et les rendre plus favorables au tri, et optimisés en vue de ces pratiques de gestion des déchets.

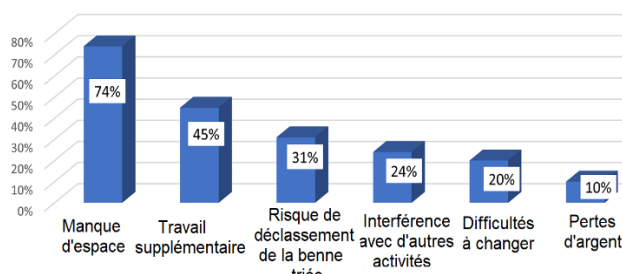


Figure 3 : Perception des obstacles au tri sur site par les chefs de chantiers interrogés

Ces problèmes d'organisation spatiale sont complétés par un autre grand facteur expliquant le faible tri opéré sur site et constituant un frein au développement des projets d'économie circulaire, le risque de déclasserment. Ainsi, près d'un tiers des conducteurs de travaux considèrent que les pratiques de tri sur site sont problématiques en raison du risque de voir les bennes triées, qui sont censément à un coût plus bas, être « déclassées » par les prestataires de déchets si elles ne sont pas parfaitement triées (et donc voyant leur prix augmenter). C'est à ce niveau qu'on retrouve des négociations et régulations plus ou moins explicites entre les entreprises de construction et les entreprises gérant la collecte des déchets triés. S'y ajoutent des enjeux liés à la (faible)

formation des personnes travaillant sur le chantier, et à la sous-traitance, qui viennent renforcer l'impression d'un risque de déclasserment pour les conducteurs de travaux. L'ensemble de ces acteurs du chantier doivent trouver une forme de compromis sur les pratiques de tri jugées satisfaisantes, et nombre de conducteurs de travaux évitent de passer trop de temps à trier quand ils considèrent que cela débouche trop fréquemment sur un déclasserment des bennes collectées, constituant alors un poids financier supplémentaire pour l'entreprise.

4.3. Une appétence potentielle pour les pratiques de tri sur site

Si les pratiques de tri restent encore limitées, les réponses au questionnaire révèlent cependant un intérêt partagé pour développer ces pratiques (figure 4). Les raisons qui président à cette appétence sont principalement à chercher dans le bénéfice écologique qui est associé à cette pratique. L'intérêt économique reste, lui, plus controversé. D'un côté, les conducteurs de travaux font largement le lien entre ces pratiques et une amélioration de l'image de l'entreprise, et donc y associent des effets économiques indirects, puisque cela peut rapidement devenir un critère de distinction dans les appels d'offres de clients en demande de performances environnementales toujours plus affirmées concernant toutes les facettes de la construction des bâtiments.

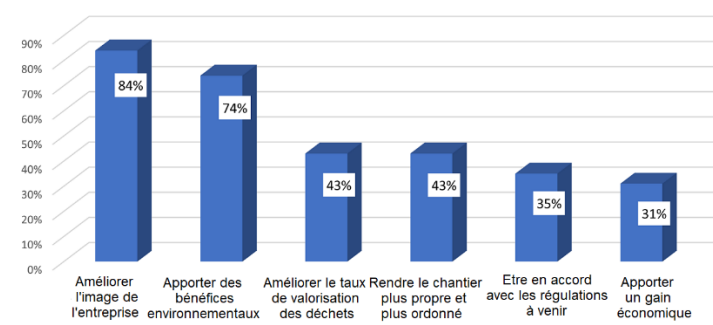


Figure 4 : Perception des avantages du tri sur site par les chefs de chantiers interrogés

En revanche, seuls 31% des conducteurs de travaux attendent un gain économique du tri sur site, montrant la nécessité de démontrer la viabilité économique de ces pratiques.

4.4. Le tri sur chantier est-il économiquement viable ?

A partir de ces résultats auprès des responsables travaux de l'entreprise, une étude économique a été

menée pour évaluer l'intérêt économique de la pratique du tri sur site à la lumière des prix de marché actuels et des pratiques constatées. Trois entreprises de tri, avec différents prix et situés dans des zones différentes d'Ile de France, ont été comparées autour de deux scénarios sur un même site de construction de l'entreprise (Cf. plus haut).

A l'origine, nous avons intégré les coûts de transports. Ils sont identiques pour chaque benne, que le contenu de celui-ci soit trié ou non, et se monte à environ 100€ par benne. L'hypothèse de départ était que le tri sur site allait se traduire par une petite augmentation des rotations pour la collecte des bennes, ce qui aurait des effets marginaux sur les coûts totaux. Les résultats des premiers essais ont montré l'inverse. Cela a été attribué au fait que le niveau de remplissage des bennes était amélioré par les opérations de tri grâce au meilleur ordonnancement des déchets triés (prenant de ce fait moins de volume à masse égale). Ce résultat devrait être confirmé par d'autres essais et recherches. Il rendrait le tri sur site encore plus intéressant économiquement. Il a cependant été décidé dans cette étude de ne pas inclure les coûts de transports dans les calculs réalisés.

Le premier scénario correspond à un tri inexistant, et le second à un tri du bois, des déchets banals et des inertes (Tableau 1). Pour estimer les coûts d'évacuation des déchets, nous avons considéré dans les deux scénarios les prix de traitement de trois prestataires de déchets différents situés en Île-de-France. Les prix considérés sont ceux négociés par contrat avec l'entreprise de construction dans laquelle l'étude a été menée pour l'année 2020.

Les résultats de ces estimations (Tableau 1) suggèrent que le tri des déchets sur site permet une réduction proche de 50% des coûts de gestion des déchets dans l'hypothèse où il n'y a pas de « déclassé » de benne. Le déclassé intervient quand la benne est censée être correctement triée mais que d'autres types de déchets se trouvent dans la benne, ce qui oblige les prestataires de déchets à re-trier la benne déclassée, générant une augmentation du prix : alors, le prix appliqué n'est pas le prix bas d'évacuation des déchets triés mais le prix bien plus élevé d'enlèvement des déchets mélangés. Il est essentiel de prendre cet élément de déclassé en considération, car il s'agit là d'un des puissants éléments qui structurent la décision de tri et découragent les personnels chargés de l'encadrement du chantier.

Scénario 1 Les déchets sont tous considérés comme des DIB (évacués à 98 €/tonne)	Prestataires de traitement		
	1	2	3
Coût total en euros	8 820 €	8 820 €	8 820 €

Scénario 2	Prestataires de traitement		
	1	2	3
45 t d'inertes à 20 ; 16 ou 17 €/tonne	900 €	720 €	765 €
27 t de DIB à 98 €/tonne	2646		
18 t de bois à 68 ; 66 ou 80 €/tonne	1224	1188	1440
Coût global du scénario 2	4 770 €	4 554 €	4 851 €
% de réduction par rapport au scénario 1	46%	48%	45%

Tableau 1. Estimation du coût du traitement des déchets selon le scénario considéré (avec et sans tri respectivement)

4.5. Mise en place du tri sur deux chantiers

Cette simulation économique simple a été mise à l'épreuve de deux cas réels où les pratiques de tri sur site ont été mises en place pendant trois mois. Par ce biais, il était possible de tester en conditions réelles la viabilité économique de ces pratiques. Sur le site 1, comme de nombreuses bennes ont été « déclassées », aucun bénéfice économique n'a été perçu par les responsables du chantier. Le site a connu d'importantes difficultés à trier les déchets de manière adéquate, notamment les déchets inertes. Cela a été amplifié par l'intérêt limité et la faible motivation pour le tri exprimés par l'équipe supervisant le chantier. Pour faire face à cet enjeu, des réunions courtes (15 minutes) sur les enjeux environnementaux ont été organisées sur le chantier toutes les deux semaines pour rappeler les principes de la tâche aux nouveaux sous-traitants et aux personnes permanentes de l'entreprise. Les pancartes indicatives installées devant les bennes ont été modifiées, avec de nouvelles images et un vocabulaire plus spécifique. Malgré ces efforts, le tri ne s'est que faiblement amélioré. Un chiffre l'illustre : le niveau de tri (masse de déchets triés/ masse totale de déchets) est passé seulement de 21 à 25% en trois mois. Cela confirme à la fois combien les pratiques de tri sont loin d'être une évidence et que ce tri sur site est une illustration d'un travail sociotechnique qui

requiert une attention particulière pour être saisi dans sa diversité souvent « désordonnée ».

La situation a été sensiblement différente dans le site 2, puisque le tri a été parfaitement pris en main dès le début, permettant d'atteindre un taux de tri de 95% le 3^{ème} mois, qui s'explique aussi par une importante production de déchets inertes. L'équipe supervisant le chantier ainsi que l'ensemble des ouvriers ont été moteurs et motivés pour faciliter la mise en place du tri sur site. Un membre de l'équipe gérant le chantier a été désigné comme superviseur du tri, permettant d'avoir une personne dédiée à cette tâche. Si cette personne a pu réaliser la moitié du travail de tri au début, la situation a évolué avec le temps, jusqu'à atteindre une participation plus distribuée dans l'effort de tri. Cela a abouti à un gain économique de 40% pour la gestion des déchets, cohérent avec le modèle économique présenté dans la section précédente.

Quelles leçons peut-on tirer de ces deux expérimentations aux résultats variés ? Premièrement, on peut isoler un enjeu de cadrage et de régulation au niveau du chantier. La pratique du tri sur site a été imposée sur le premier chantier par les clients. Cette décision considérée comme subie n'étant pas une démarche volontaire et concertée au sein de l'entreprise, les conducteurs de travaux n'ont pas pris au sérieux dès le début le manque d'implication des ouvriers du site. A l'inverse, sur le second chantier, l'équipe d'encadrement a décidé de développer le tri et s'est montrée particulièrement enthousiaste pour la mise en place de la pratique. Plus important encore, elle a dédié un budget à cette tâche, et nommé une personne sur le site pour gérer la pratique au jour le jour (analysant les besoins, les difficultés, etc.). Dans ce second site, les pratiques de tri étaient clairement encadrées, monitorées, accompagnées et directement régulées, permettant une appropriation sociale plus aisée du processus par les personnes travaillant sur le chantier. Cette appropriation a été d'autant plus difficile sur le premier site que de nombreux sous-traitants sont intervenus sur le site, sans forcément avoir été formés à ces enjeux.

Deuxièmement, il y a peut-être dans ces cas un effet de taille et d'échelle (qui nécessiterait de plus amples recherches pour être confirmé ou infirmé), car le site connaissant un plus grand succès du tri était plus petit, nécessitait de ce fait une moins grande force de travail, ce qui permettait d'avoir un management plus individualisé.

Enfin, la phase de construction peut aussi avoir influencé la qualité d'appropriation des processus de

tri. Le premier site était dans une phase de travaux de second œuvre, produisant des déchets avec un grand niveau de diversité : déchets non dangereux du type PVC, panneaux de bois, palettes de bois, planches de contreplaqué, parquet, plinthes, plaques de plâtre, dalles de béton, déchets de plomberie, déchets mélangés (bois avec du PVC, etc.) et déchets dangereux (peinture, mastic, enduits, etc.). Cette forte diversité renforce la difficulté du tri, puisqu'il est compliqué pour les ouvriers sur le site de reconnaître le type de déchets et de le trier correctement. De l'autre côté, le second site en était aux travaux de gros œuvre, produisant principalement le même type de déchets, avec des poutres en bois pour le bois, des treillis soudés pour les métaux, du béton pour les inertes, et des emballages pour les DIB. Ils sont plus faciles à reconnaître pour les personnes sur le chantier et, ainsi, plus faciles à trier.

Cela permet de voir combien les caractéristiques spécifiques d'un chantier cadrent la mise en place facile ou non du tri sur le site. Ces caractéristiques sont très dépendantes de décisions prises dans la phase de conception et d'organisation spatiale du site du chantier, qui dictent la faisabilité et l'appropriation de ces processus, et la rendent potentiellement bénéfique économiquement et au niveau environnemental. Lancer ce type de démarche au début d'un projet de construction, dans la phase des travaux de structures, quand la diversité des déchets est faible et les sous-traitants peu nombreux pourrait certainement faciliter le processus. Il est également, dans ce contexte, particulièrement important de concevoir un schéma de gestion des déchets qui inclue supervision, monitoring, régulation au niveau du chantier des pratiques pour favoriser l'appropriation du tri sur site, l'adapter à la diversité des tailles de site, aux restrictions spatiales, au nombre de personnes travaillant sur le site et aux volumes de déchets produits.

5. CONCLUSIONS

Actuellement, il n'y a pas de réelle obligation pour les entreprises de la construction qui conduirait à imposer le tri sur site sur leurs chantiers, ni de certification associée ou de régulation environnementale spécifique sur le sujet. La pratique, bien que reconnue comme environnementalement pertinente, a longtemps été considérée comme coûteuse et consommatrice de temps par de nombreux acteurs de la construction, ce qui explique sa relativement faible diffusion en France comme ailleurs dans le monde. Cette recherche documente avec des données primaires la réalité de ces pratiques souvent encore embryonnaires de tri sur les chantiers, même quand certaines sont légalement

obligatoires. Pourtant, elle démontre aussi qu'associer tri sur site et désavantage économique est à la fois une idée reçue et une idée fausse.

Cette situation concernant le tri sur site est cependant amenée à être bousculée par de récents changements, en particulier du fait de deux mesures issues de la loi AGECE (loi anti-gaspillage pour une économie circulaire), qui ont été précisées par décret (n°2020-1817) fin 2020. Ces dernières (en vigueur le 1^{er} juillet 2021) vont fortement bouleverser l'organisation des professionnels du bâtiment en les obligeant théoriquement :

- à quantifier les déchets produits sur chaque chantier ;
- à préciser les modalités de collecte et de gestion de ces déchets (en particulier l'effort de tri *in situ*)
- à prévoir techniquement et financièrement le ou les point(s) de collecte de dépôts des déchets issus du chantier.

Si ces mesures sont appliquées de manière stricte, les entreprises gérant les chantiers, pour ne pas être trop lourdement impactés économiquement, seront ainsi fortement incitées à mettre en place le tri à la source directement sur leur site.

Cependant, comme notre travail d'enquête l'a montré, le facteur économique n'est pas, pour l'instant, le facteur de transformation principal aux yeux des chefs de chantiers. La mise en place de ces techniques nouvelles, comme tout changement sociotechnique, est sujette à des frictions, des tensions, des va et vient. Pour en saisir la complexité, cela nécessite de prêter une attention particulière au caractère situé des sites de construction, et donc aux pratiques qui caractérisent leur fonctionnement. Plutôt que de regarder la construction de la réglementation et ses implications potentielles, l'entrée par les pratiques permet de regarder la mise en acte de cette réglementation, et ses potentiels détournements. Les bénéfices économiques de ces pratiques reposent sur une fragile combinaison entre des techniques humaines et des décisions de management. Certains moments et pratiques apparaissent particulièrement décisifs dans ce schéma, comme le monitoring du tri sur site, afin de restreindre la possibilité de voir des bennes dégradées.

Au final, il ne faut pas considérer la mise en place du tri sur site comme l'unique solution pour améliorer l'empreinte matérielle du secteur de la construction et favoriser l'économie circulaire. Les questions de réemploi et/ou de recyclage de matériaux venant de la démolition de sites de construction offrent d'autres possibilités complémentaires pour réintégrer des

matériaux directement dans l'économie productive et faire baisser la production de déchets. Le tri sur site nécessitera d'être fortement articulé à de l'écoconception et à un usage plus frugal des ressources matérielles pour rendre la construction profondément plus durable et capable de remplir le projet d'une économie authentiquement « permacirculaire » (Arnsperger et Bourg, 2017).

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME (2020). *Les déchets, chiffres-clés*, rapport annuel, Paris, 80p. ISSN : 2425-3588.

T. Ann, C.S. Poon, A. Wong, R. Yip & L. Jaillon (2013). Impact of construction waste disposal charging scheme on work practices at construction sites in Hong Kong. *Waste Management*, **33** (1), 138-146. [10.1016/j.wasman.2012.09.023](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.023)

C. Arnsperger & D. Bourg (2017). *Ecologie intégrale. Pour une société permacirculaire*, Paris, PUF.

V. Augiseau (2019). Utiliser les ressources secondaires de matériaux de construction : contraintes et pistes d'action pour des politiques territoriales. *Flux*, **116-117(2-3)**, 26-41. [10.3917/flux1.116.0026](https://doi.org/10.3917/flux1.116.0026)

V. Augiseau & S. Barles (2017). Studying construction materials flows and stock: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, **123**, 153-164. [10.1016/j.resconrec.2016.09.002](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.002)

Bellastock, Albert & Compagnie, Auxilia, Recovering, Le Phares, CSTB, Encore Heureux Architectes, Halage & BTP Consultants (2018). *Bilan technique et stratégique. An 1 de la phase opérationnelle du projet Métabolisme urbain. 2017-2018*, Rapport d'étude pour le compte de Plaine Commune, ADEME, Groupe CDC, Région Île-de-France.

CERC Île-de-France (2013). *Production des déchets de chantiers en Île-de-France et études connexes*, Rapport d'étude pour le compte du Conseil régional Île-de-France.

I.M. Chethana, S. Illankoon & W. Lu (2020). Cost implications of obtaining construction waste management-related credits in green building. *Waste Management*, **102**, 722-731. [10.1016/j.wasman.2019.11.024](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.024)

FFB (Fédération Française du Bâtiment) (2019). *Etude de scénarii pour la mise en place d'une organisation permettant une gestion efficace des déchets du bâtiment dans le cadre d'une économie circulaire*, Paris, rapport, 44p.

B.C. Guerra, F. Leite, K.M. Faust (2020). 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. *Waste Management*, **116**, 79-90. [10.1016/j.wasman.2020.07.035](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.035)

M. F. Hasmori, A.F.M. Zin, S. Nagapan, R. Deraman, N. Abas, R. Yunus & M. Klufallah (2020). The on-site waste minimization practices for construction waste. *IOP*

Conference Series: Materials Science and Engineering, 713. [10.1088/1757-899X/713/1/012038](https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012038)

M.U. Hossain, Z. Wu & C.S. Poon (2017). Comparative environmental evaluation of construction waste management through different waste sorting systems in Hong Kong. *Waste Management*, **69**, 325-335. [10.1016/j.wasman.2017.07.043](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.043)

B. Huang, X. Wang, H. Kua, Y. Geng, R. Bleischwitz & J. Ren (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation, Recycling*, **129**, 36–44. [10.1016/j.resconrec.2017.09.029](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029)

X. P. Kang, J.W. Wang & V.W.Y. Tam (2006). On-site sorting of construction waste in mainland China, a survey made in Shenzhen. *The CRIOCM2006 International Symposium on "Advancement of Construction Management and Real Estate"*.

W. Lu & H. Yuan (2011). A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Management*, **31**, 1252-1260. [10.1016/j.wasman.2011.01.018](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018)

W. Lu & H. Yuan (2012). Off-site sorting of construction waste: What can we learn from Hong Kong? *Resources, Conservation and Recycling*, **69**, 100-108. [10.1016/j.resconrec.2012.09.007](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.007)

M. Ma, V.W.Y. Tam, K.N. Le & W. Li (2020). Challenges in current construction and demolition waste recycling: A China study. *Waste Management*, **118**, 610-625. [10.1016/j.wasman.2020.09.030](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.030)

M. Marrero & A. Ramirez-De-Arellano (2010). The building cost system in Andalusia: Application to construction and demolition waste management. *Construction Management Economics*, **28** (5), 495–507. [10.1080/01446191003735500](https://doi.org/10.1080/01446191003735500)

L.M.F. Maués, B.M. Oliveira do Nascimento, W. Lu & F. Xue (2020). Estimating construction waste generation in residential buildings: A fuzzy set theory approach in the Brazilian Amazon. *Journal of Cleaner Production*, **265**, 121779. [10.1016/j.jclepro.2020.121779](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121779)

T. Moss (2014). Socio-technical Change and the Politics of Urban Infrastructure: Managing Energy in Berlin between Dictatorship and Democracy. *Urban Studies*, **51**(7), 1432–144. [10.1177/0042098013500086](https://doi.org/10.1177/0042098013500086)

H.H. Ngoc, T. Ishigaki, R. Kubota, T.K. Tong, T.T. Nguyen, H.G. Nguyen, M. Yamada & K. Kawamoto (2020). Waste generation, composition, and handling in building-related construction and demolition in Hanoi, Vietnam. *Waste Management*, **117**, 32-41. [10.1016/j.wasman.2020.08.006](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.006)

C.S. Poon, T.W. Ann TW & L.H.N. Yu (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong.

Resources, Conservation and Recycling, **32**, 157–172. [10.1016/S0921-3449\(01\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00052-0)

C.S. Poon, A.T.W. Yu, A. Wong & R. Yip (2013). Quantifying the impact of construction waste charging scheme on construction waste management in Hong Kong. *Journal of Construction, Engineering Management*, **139** (5), 466–479. [10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000631](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000631)

R. Rameezdeen, N. Chileshe, M.R. Hosseini & S. Lehmann (2015). A qualitative examination of major barriers in implementation of reverse logistics within the South Australian construction sector. *International Journal of Construction Management*, **16**(3), 185-196. [10.1080/15623599.2015.1110275](https://doi.org/10.1080/15623599.2015.1110275)

J.Y. Wang, H. Yuan, X.P. Kang & W. Lu (2010). Critical success factors for on-site sorting of construction waste: a China study. *Resources, Conservation and Recycling*, **54** (11), 931–936. [10.1016/j.resconrec.2010.01.012](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.012)

I.D. Williams, T. Curran, E. den Boer, A. Pertl, D. Lock, A. Kent & P. Wilding (2014). Resource efficiency networks in the construction of new buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, **167**(4), 139-152. [10.1680/warm.13.00030](https://doi.org/10.1680/warm.13.00030)

B. Yang, X. Song, H. Yuan & J. Zuo (2020). A model for investigating construction workers' waste reduction behaviors. *Journal of Cleaner Production*, **265**, 121841. [10.1016/j.jclepro.2020.121841](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121841)

H. Yuan, L. Shen (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, **31**, 670-679. [10.1016/j.wasman.2010.10.030](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.030)

H. Yuan, W. Lu & J.J.L. Hao (2013). The evolution of construction waste sorting on-site. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **20**, 483-490. [10.1016/j.rser.2012.12.012](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.012)