



HAL
open science

Méthode de quantification des flux des mines urbaines : cas des briques en terre cuite en Ile de France

Sarah Clavier, Nada Bendahmane, Natacha Gondran, Jacques Chevalier

► To cite this version:

Sarah Clavier, Nada Bendahmane, Natacha Gondran, Jacques Chevalier. Méthode de quantification des flux des mines urbaines : cas des briques en terre cuite en Ile de France. 2022. emse-03792178v1

HAL Id: emse-03792178

<https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-03792178v1>

Preprint submitted on 12 Oct 2022 (v1), last revised 24 Mar 2023 (v3)

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.

1 **Méthode de quantification des flux des mines urbaines : cas des briques en terre cuite en Ile de France**

2 **Method for quantifying urban mine flows: the case of clay bricks in Ile-de-France**

3 Sarah Clavier^b, Nada Bendahmane^{a,b}, Natacha Gondran^{a*} (*Mél: gondran@emse.fr*), Jacques Chevalier^b

4 ^a Mines Saint-Etienne, Univ Lyon, CNRS, Univ Jean Monnet, Univ Lumière Lyon 2, Univ Lyon 3 Jean Moulin, ENS
5 Lyon, ENTPE, ENSA Lyon, UMR 5600 EVS, Institut Henri Fayol, F - 42023 Saint-Etienne France

6 ^b Université Paris-Est, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 24 rue Joseph Fourier, Saint-Martin-d'Hères,
7 38400, France

8 **Mots-clés :** Mines urbaines ; Economie circulaire, Analyse de flux de matières ; bâtiment durable ;

9 **Key words:** Urban mining; Circular Economy; Material flow analysis; sustainable Building;

10 **Résumé :** Le secteur du bâtiment est un grand consommateur de ressources et un important producteur de
11 déchets. Dans un contexte d'épuisement des ressources, le secteur du bâtiment doit mettre en place des
12 stratégies pour devenir davantage circulaire. Une solution possible est d'avoir recours aux mines urbaines, c'est-
13 à-dire, de voir les bâtiments existants comme un gisement de ressources disponibles pour les futures
14 constructions ou rénovations du parc immobilier, lors de leur déconstruction. Cet article propose une méthode
15 mettant en relation les flux de déconstruction des bâtiments et ceux destinés à la construction neuve ou la
16 rénovation. Après leur extraction des mines urbaines, les éléments de construction peuvent convenir à divers
17 usages secondaires. Ces derniers sont identifiés en sortie des filières de réemploi, réutilisation et de recyclage et
18 quantifiés dans des unités adéquates (m², kg...) facilitant leur utilisation directe comme intrant d'un nouveau
19 bâtiment. La méthode se veut prospective en considérant que l'économie circulaire est pleinement développée
20 et que l'accent n'est mis que sur la faisabilité technique des modes de valorisation. Afin d'illustrer la méthode, le
21 cas des briques en terre cuite en Ile-de-France est développé. Durant l'année 2020, 153 kT de briques en terre
22 cuite ont été déconstruites sur ce territoire, permettant d'obtenir, par exemple, une surface de plus de 21 000
23 m² de parois en briques de maçonnerie et 9,2 kt de granulats destinés à la fabrication de béton.

24 **Abstract:** The construction sector is a major consumer of resources and a major producer of waste. In a context
25 of resource depletion, the construction industry must implement strategies to become more circular. One
26 possible solution is to resort to urban mining, i.e. to see existing buildings as a resource deposit available for
27 future construction or renovation of the building stock when they are deconstructed. This article proposes a
28 method that links the flows of deconstructed buildings with those destined for new construction or renovation.

29 After extraction from urban mines, building components may be suitable for various secondary uses. These
30 secondary uses are identified at the end of the reuse and recycling channels and quantified in appropriate units
31 (m², kg...) facilitating their direct use as input for a new building. The method is intended to be forward-looking,
32 considering that the circular economy is fully developed and that the focus is only on the technical feasibility of
33 the recovery methods. To illustrate the method, the case of clay bricks in Ile-de-France is developed. During the
34 year 2020, 153 kT of clay bricks were deconstructed in this territory, making it possible to obtain, for example,
35 more than 20 000 m² of wall in masonry bricks and 9.2 kt of aggregates for the manufacture of concrete.

36 **1 Introduction**

37 Le secteur du bâtiment génère beaucoup de déchets, consomme de grandes quantités de ressources et
38 engendre des impacts environnementaux négatifs considérables (Ajayebi *et al.*, 2020). En France, en 2018, les
39 déchets du bâtiment sont estimés à environ 46 millions de tonnes, soit 13% des déchets du pays (SDES, 2021),
40 dont la majorité (87%) est générée lors des étapes de démolition et de rénovation (MTE, 2020a). La part de la
41 consommation au niveau mondial est également importante, avec environ 65% du total des granulats et 20% du
42 total des métaux utilisés pour la construction de bâtiments (Krausmann *et al.*, 2017). La pression sur certaines
43 ressources se fait déjà sentir dans certains territoires. En Île-de-France, 50% des granulats sont importés d'autres
44 régions car le territoire ne peut pas répondre entièrement à la demande, qui est pourtant deux fois moins élevée
45 que la moyenne nationale (Institut Paris Région, 2021). Avec l'urbanisation et la croissance démographique, la
46 consommation de matériaux devrait encore augmenter (Stephan et Athanassiadis, 2018). Aujourd'hui, une
47 grande partie des déchets minéraux issus du secteur de la construction est recyclée en remblaiement
48 (Krausmann *et al.*, 2017), ce qui constitue du décyclage, c'est-à-dire à une utilisation pour un usage qui nécessite
49 une qualité de matériau moins noble que celle du matériau secondaire, ce qui correspond donc à une diminution
50 de la quantité disponible de matériaux utilisés pour des usages plus nobles. Se tourner vers une valorisation de
51 plus haute qualité permettant de boucler le cycle des matériaux et de réduire la consommation de ressources
52 primaires pour la construction semble donc nécessaire pour optimiser l'usage des matériaux valorisés et réduire
53 l'extraction de nouvelles ressources (Yang *et al.*, 2022).

54 L'une des façons d'y parvenir est de considérer le stock de bâtiments en cours d'utilisation comme un
55 gisement de ressources pouvant, à l'avenir, être réutilisé : le parc immobilier est ainsi vu comme une mine
56 urbaine. Cette approche est basée sur l'économie circulaire et la législation française tend de plus en plus à

57 favoriser ce modèle. D'après le gouvernement français, « *L'économie circulaire consiste à produire des biens et*
58 *des services de manière durable en limitant la consommation et le gaspillage des ressources et la production des*
59 *déchets. Elle vise à passer d'une société du tout jetable, basé sur une économie linéaire (extraire, fabriquer,*
60 *consommer, jeter) vers un modèle économique plus circulaire » (MTE, 2020b). En effet, la loi de transition*

61 énergétique pour la croissance verte avait fixé l'objectif de valoriser 70 % des déchets du BTP d'ici 2020 (ADEME,
62 2020) et dans le cadre de la loi Anti-Gaspillage pour une Economie Circulaire, dite loi AGECE, une filière de
63 Responsabilité Elargie des Producteurs (REP) a été mise en place pour les produits et équipements du bâtiment,
64 ce qui devrait augmenter les taux de collecte des produits concernés (ADEME, 2020). Cette loi a également rendu
65 obligatoire la réalisation d'un diagnostic déchets, lors de la déconstruction de bâtiments ayant une surface de
66 plancher supérieure à 1 000 m² ou ayant contenu une ou plusieurs substances dangereuses, qui permet d'évaluer
67 les possibilités de réemploi des produits présents dans les bâtiments et, à défaut, d'une autre valorisation. Cette
68 initiative découle de la directive européenne 2008/98/CE relative aux déchets, qui hiérarchise les modes de
69 traitement, de la prévention à l'élimination.

70 Les termes concernant l'économie circulaire n'ont pas toujours les mêmes définitions selon les sources
71 d'information. Par exemple, en anglais, il n'y a pas de distinction entre la réutilisation et le réemploi. Il semble
72 donc opportun de préciser les définitions des différents termes qui seront utilisés dans cet article. Celles-ci
73 s'appuient principalement sur l'article L541-1-1 du code de l'environnement, qui définit les filières de valorisation
74 des matériaux. Le réemploi est le processus où les éléments de construction extraient d'un bâtiment sont utilisés
75 de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus. La réutilisation se distingue par le
76 fait que les éléments sont utilisés de nouveau mais pour d'autres usages. Ces deux procédés englobent toute
77 opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation. Dans la suite de cet article, seul
78 le terme réemploi sera utilisé pour évoquer ces deux modes de valorisation. Le recyclage concerne quant à lui
79 toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en substances, matières ou produits aux
80 fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Par ailleurs, l'expression déconstruction sera privilégiée par la
81 suite. Lors de la rénovation ou de la démolition des bâtiments, des opérations de dépose minutieuses et
82 contrôlées permettent de produire des composants et matériaux à réemployer. Il y a donc déconstruction avant
83 rénovation ou démolition.

84 Afin d'évaluer dans quelle mesure les matériaux sortant du parc immobilier peuvent être réintégrés
85 dans de nouvelles constructions, il est crucial de connaître ce parc en termes de quantité et d'origine des
86 matériaux (secteurs d'activité, zone géographique, ...). En effet, cela permet de savoir où, quand et en quelle
87 quantité et qualité les différents matériaux seront disponibles. L'analyse des flux de matières (AFM) permet de
88 répondre à cet objectif. Les études s'intéressant aux mines urbaines du secteur de la construction ont presque
89 toutes utilisé cet outil (Krausmann *et al.*, 2017; Stephan et Athanassiadis, 2018; Ajayebi *et al.*, 2020; Arora *et al.*,
90 2020; Yang *et al.*, 2022) à l'exception de celles qui ont expérimenté la théorie des mines urbaines sur le terrain
91 (Arora *et al.*, 2020, 2021). Pour Ajayebi et al. (2020), Koutamanis et al. (2018) et Stephan & Athanassiadis, (2018),
92 la quantification des flux entrants et sortants annuels, donnée par les modèles d'AFM, permettent d'éclairer la
93 prise de décision pour rendre le secteur de la construction plus circulaire.

94 Néanmoins, bien que ces modèles permettent aux décideurs d'identifier les principaux flux de matériaux
95 et d'anticiper les périodes de déconstruction ou de rénovation intenses, Yang et al. 2022 suggèrent que pour
96 savoir si la demande de matériaux peut être satisfaite, il est nécessaire d'aller au-delà d'une comparaison directe
97 des flux d'entrée et de sortie. Cette précédente étude a donc intégré le recyclage au modèle habituel, tout
98 comme l'ont fait Krausmann et al. (2017) et Stephan & Athanassiadis (2018). Cette étape supplémentaire permet
99 d'avoir une vision plus précise des flux qui pourraient être réintégrés par une construction neuve ou une
100 rénovation car dans la pratique, tous les composants d'un bâtiment ne sont pas recyclables. Cependant, si l'étude
101 des mines urbaines s'est largement concentrée sur le recyclage, notamment du béton et des métaux (Arora *et*
102 *al.*, 2021), le réemploi est un autre mode de valorisation à prendre en compte. C'est d'ailleurs à quoi se sont
103 appliqués Ajayebi et al. (2020) et Arora et al. (2020, 2021), toutefois, aucune de ces études n'a combiné plusieurs
104 filières de valorisation dans son modèle.

105 D'autre part, la typologie du parc immobilier rend difficile la mise en relation des ressources sortant du
106 parc avec les flux de matériaux pour la rénovation et/ou la nouvelle construction. Comme le soulignent Ajayebi
107 et al. (2020) et Arora et al. (2020), la plupart des études d'évaluation du parc immobilier se concentrent sur
108 l'estimation des quantités de matériaux, plutôt que celles des produits, et cela sous une forme agrégée. Un
109 bâtiment est composé de divers composants et sa démolition engendre bien des composants, certes
110 potentiellement mélangés, brisés, mais la démolition n'engendre pas des ressources matérielles directement
111 utilisables. Dans une optique de réemploi, Arora et al. (2020) recommande donc d'opter pour une typologie en

112 composants. De son côté, l'étude d'Ajayebi et al. (2020) étudie le réemploi des briques et suppose de
113 complètement désagréger les flux de sorties par type de matériaux, date de fabrication, taille, afin de quantifier
114 correctement le taux de réemploi. De plus, le fait d'estimer chaque matériau en masse ne facilite pas
115 l'identification de la correspondance entre l'offre et la demande qui s'exprime plutôt dans toutes sortes d'unités
116 (nombres de fenêtres, m² de tuiles, ...).

117 L'estimation en termes de composants plutôt que de ressources matérielles implique donc de
118 s'intéresser aux usages que peuvent avoir les composants déconstruits après leur valorisation. Ceci est
119 particulièrement vrai lorsqu'on s'intéresse à la réutilisation qui récupère des produits en les détournant de leur
120 usage initial, il faut préciser cet usage secondaire. De même, les matériaux recyclés, ayant des niveaux de qualité
121 différents que les ressources vierges, peuvent ne pas convenir à toutes les utilisations, il est donc nécessaire de
122 préciser leur qualité et donc à quels usages ils peuvent répondre. Toutefois, le décyclage a été évoqué
123 précédemment et met le doigt sur le fait que tous les usages secondaires ne se valent pas.

124 Néanmoins, le réemploi n'est pas encore une pratique systématique et pour de nombreux matériaux,
125 le décyclage est privilégié (Arora *et al.*, 2020). De plus, plusieurs recherches (Krausmann *et al.*, 2017; Yang *et al.*,
126 2022) ont démontré que la demande de matériaux pour les nouvelles constructions et la rénovation dépasse
127 l'offre de matériaux secondaires issu du recyclage, car l'augmentation du PIB et de l'urbanisation entraîne une
128 plus grande demande de matériaux pour la construction de nouveaux bâtiments. Un état des lieux des pratiques
129 actuelles serait nécessaire pour estimer la part d'approvisionnement que les stocks actuels de bâtiments
130 pourraient représenter par rapport à la demande de construction/rénovation. Néanmoins, il est également
131 intéressant de voir si d'un point de vue technique le recyclage mais également le réemploi peut permettre de
132 répondre à la demande de construction.

133 Le présent article propose de s'intéresser aux composants issus de la déconstruction ou de la rénovation
134 d'un stock de bâtiments donnés et de proposer une méthode mobilisable pour les différentes filières de
135 valorisation matière (réemploi et recyclage). L'objectif de cet article est de proposer une méthode visant à
136 quantifier, à partir des flux sortants du parc immobilier dus à la déconstruction et à la rénovation, les masses
137 respectives de composants déconstruits pouvant être utilisées par les filières de réemploi et de recyclage. Il s'agit
138 donc de modéliser les flux depuis la déconstruction jusqu'à l'utilisation pour des usages secondaires. Ces
139 derniers, identifiés en sortie des trois modes de valorisation, seront jugés par leur qualité et quantifiés en termes

140 de composants, pour le réemploi, et en ressources, pour le recyclage, tous susceptibles d'être utilisés
141 directement comme intrant d'un nouveau bâtiment. En effet, afin de prendre en compte la valorisation des
142 produits de déconstruction en réemploi, les usages qui peuvent être faits des matériaux récupérés à l'étape
143 précédente devront être identifiés et quantifiés dans leur unité fonctionnelle. Une vision prospective est adoptée
144 afin de faire ces quantifications en ne prenant en compte que la faisabilité technique et fonctionnelle, pour
145 évaluer le devenir des flux sortants. Les auteurs de l'article sont conscients que les limites au réemploi et au
146 recyclage ne sont pas seulement techniques mais aussi organisationnelles, économiques, assurantielles et
147 règlementaires, mais il s'agit ici d'estimer une quantité maximale de ressources et équipements pouvant être
148 remis en œuvre à partir des mines urbaines.

149 **2 Matériels et Méthodes**

150 Cette section détaille les différentes étapes permettant d'atteindre cet objectif en fonction des
151 déconstructions du parc immobilier. Pour chaque composant déconstruit, il s'agit d'estimer la part pouvant être
152 réemployée et recyclée, puis d'identifier et de quantifier les usages secondaires qui peuvent être produits grâce
153 à ces modes de valorisation. Ces estimations sont réalisées dans le cadre de certaines hypothèses que nous
154 détaillons plus loin. En outre, chaque usage devra être exprimé dans l'unité fonctionnelle appropriée et une
155 échelle comparative de la qualité des usages secondaires sera présentée.

156 *2.1 Hypothèses de travail*

157 Afin d'estimer la quantité maximale de ressources, de produits et équipements pouvant être extraits de
158 la déconstruction des bâtiments, les quantifications de cette étude sont réalisées dans le cadre d'un scénario où
159 le modèle d'économie circulaire serait pleinement développé et optimisé dans la construction. Les parties
160 prenantes des chantiers sont considérées comme convaincues par le modèle, même si ce n'est pas forcément le
161 cas aujourd'hui. De nombreuses études relèvent l'absence apparente de marché de récupération et de demande
162 de composants ou matériaux de construction issus des mines urbaines pour diverses raisons, notamment
163 l'acceptation des consommateurs et les pratiques de construction (Arora *et al.*, 2021). Nous posons dans ce
164 travail de quantification l'hypothèse que, s'il est nécessaire de détruire un bâtiment, les acteurs ne pratiquent
165 que la déconstruction sélective et qu'ils ont toujours en vue de réemployer d'abord, puis de recycler et enfin de
166 diriger les composants déconstruits vers des filières d'élimination ; et tout cela avec les technologies actuelles
167 de récupérations et de valorisations. Notons que cette hypothèse de hiérarchie entre les types de valorisation

168 repose sur les préconisations de la directive européenne 2008/98/CE : le réemploi prévaut, le recyclage doit être
169 envisagé ensuite, puis la valorisation énergétique et enfin l'élimination. L'aspect prospectif de ce scénario porte
170 sur cette volonté de respecter cette hiérarchie. Les deux derniers modes de gestion sans valorisation matière ne
171 sont pas traités en détail et sont regroupés en un seul ("fin de vie").

172 Néanmoins, le mélange des produits ou matériaux constitue l'un des obstacles techniques à la
173 valorisation. Il est donc considéré que tous les composants déconstruits sont triés et que ce tri est très strict.
174 Cela signifie que chaque type de produit est séparé des autres afin de favoriser le réemploi et permettre le
175 recyclage des matériaux non mélangés, évitant ainsi leur pollution par d'autres éléments (déchets inertes pollués
176 par les déchets non dangereux non inertes). Dans la pratique, les surfaces de stockage des produits déconstruits
177 ne sont souvent pas assez importantes en vue de leur réemploi (CSTC, 2019). Une autre hypothèse est donc que
178 les surfaces de stockage sont toujours considérées comme suffisantes par rapport aux quantités de matériaux
179 présentes dans les bâtiments même si cela peut être très problématique en milieu urbain.

180 Les problèmes de stockage peuvent également entraîner une incompatibilité temporelle, pour le
181 réemploi, qui peut se produire lorsque l'offre (au moment du chantier de déconstruction) et la demande (le
182 chantier de construction) ne sont pas coordonnées (Arora *et al.*, 2021). Dans le cadre de ce travail, ce critère
183 temporel n'est pas pris en compte en supposant que tout producteur de matières premières/produits
184 secondaires arrive à se coordonner avec un acheteur pour valoriser les produits de la déconstruction. Un autre
185 obstacle au réemploi, également négligé dans cet article, est que la construction doit souvent être adaptée aux
186 matériaux réutilisés plutôt que l'inverse. Par exemple, si une nouvelle structure espère utiliser des fenêtres
187 réemployées, elle devra adapter la taille de l'ouverture du mur à celle du châssis.

188 Il ne s'agit donc pas d'une vision d'un futur où de nouvelles technologies de valorisation auraient été
189 développées mais d'un scénario qui privilégierait l'économie circulaire pour les ressources avec les technologies
190 existantes. Le seul point d'attention des quantifications étant la faisabilité technique des méthodes de gestion
191 des éléments déconstruits et de leur seconde vie.

192 Dans un souci d'optimisation des ressources valorisées, il est considéré que, dans la mesure du possible,
193 les usages requérant une qualité fonctionnelle supérieure sont priorités, évitant ainsi le décyclage. De plus, on
194 favorise une circulation en interne du secteur du bâtiment sont favorisés.

195 Des scénarios plus complets, incluant des changements sociétaux et une perspective 2050, ont été
196 proposés par l'ADEME (2021). Dans les 4 scénarios, le réemploi est développé pour les produits et matériaux de
197 construction. De nombreuses hypothèses du scénario " génération frugale " rejoignent celles formulées dans
198 cette étude. En effet, le tri et la collecte sélective y sont massifiés et peu d'évolutions technologiques sont
199 considérées entre 2015 et 2050.

200 2.2 Déroulé de la méthode et données estimées

201 Les prochains paragraphes expliciteront les données utilisées afin de modéliser les flux de matériaux
202 depuis la déconstruction jusqu'à leur réintroduction dans des rénovation ou construction. La figure 1 présente
203 un schéma simplifié de ces données.

204 2.2.1 Détermination des flux de déconstruction

205 En premier lieu, nous chercherons à déterminer les flux issus de la déconstruction. Chaque territoire et
206 chaque période de construction peut avoir ses propres spécificités en termes d'architecture et donc de
207 répartition des matériaux et composants. De plus, le type des bâtiments déconstruits ou rénovés peut évoluer
208 dans le temps du fait de l'arrivée en fin de vie d'un certain type de bâtiments construits dans une période de
209 construction donnée (en 2050, les bâtiments construits en 2021 seront probablement déconstruits alors qu'en
210 2022 presque aucun ne le sera). Toutes les données à estimer doivent donc l'être dans un cadre spatio-temporel
211 $(x; n)$ bien précis (Tirado *et al.*, 2021).

212 Afin d'estimer les quantités de déchets de déconstruction, cette étude s'appuie sur les données
213 d'évaluation des stocks de flux de matériaux développées par le CSTB avec le modèle d'AMF nommé BTPflux
214 (Tirado *et al.*, 2021). Ce modèle utilise une approche ascendante en macro-composants qui permet d'étudier,
215 pour une année choisie n , les flux de déchets de démolition et de rénovation à plusieurs échelles géographiques
216 x (région, département...) pour plusieurs types de bâtiments (résidentiels, bureaux...) et familles de déchets
217 comme le montre le tableau 1 (Tirado *et al.*, 2021). La composition du parc immobilier est d'abord estimée avec
218 l'exploitation de données foncières, d'outils du système d'information géographique (SIG) et de diagnostics de
219 performance énergétique. Ensuite les flux de déconstruction sont estimés avec des taux de démolition et de
220 rénovation appliqués aux différents types de bâtiments et de composants.

221 *Tableau 1: Exemple de famille de déchets et leur classification prise en compte par BTPflux (En gras les déchets à forte*
222 *composition minérale)*

Famille de déchets	Type de déchet
---------------------------	-----------------------

Briques en terre cuite	Déchet inerte (DI)
Tuiles en terre cuite	Déchet inerte (DI)
Céramiques	Déchet inerte (DI)
Béton et roches (ardoise, pierre naturelle, gravier)	Déchet inerte (DI)
Plaque et planches de plâtre	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)
Isolant en laine minérales	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)
Autres isolants	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)
Métaux ferreux	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)
Métaux non ferreux	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)
Fenêtres (avec le vitrage)	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)
Bois faiblement adjuvanté	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)
Autres DNDNI	Déchet non dangereux non inerte (DNDNI)

223 La méthode a été expérimentée sur les composants générant les déchets à forte composition minérale
224 présents dans le tableau 1.

225 Le modèle BTPflux n'estime cependant pas des quantités de composants déconstruits dans leur unité
226 fonctionnelle (m², unités...) mais les masses de déchets. Néanmoins, ces masses sont déterminées pour certains
227 composants des familles de déchets du tableau 1. Par exemple, il est possible d'avoir accès aux masses de
228 fenêtres en bois simple vitrage déconstruites, ou d'isolants en laine de verre. Nous avons discuté plus tôt l'intérêt
229 d'exprimer les flux en termes de composants pour le réemploi, une conversion sera donc effectuée par la suite.

230 2.2.2 Détermination des échelles d'opérations des modes de valorisation

231 Les échelles géographiques d'opération des filières de réemploi et de recyclage peuvent être
232 recherchées en termes de distance autour d'un chantier. En effet, cela permet de savoir dans quel secteur la
233 demande en produits et équipements de construction peut considérer des chantiers de
234 déconstruction/rénovation afin d'évaluer l'offre disponible. Ces zones permettront de déterminer l'échelle
235 géographique, disponible sur BTPflux, la plus adaptée, et cela pour chaque composant.

236 2.2.3 Détermination du taux de réemploi

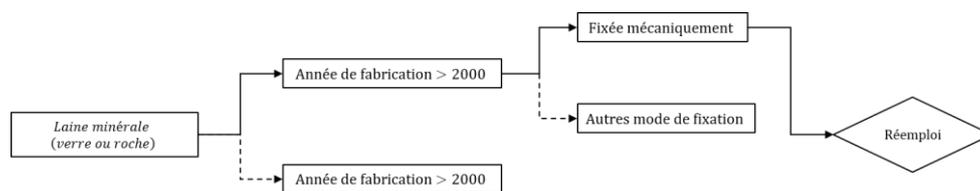
237 Dans la pratique, l'étape de dépose et du transport des composants d'un bâtiment peut engendrer des
238 dommages à ces derniers, ce qui réduit les quantités des flux en sortie qui pourraient être réemployés. De plus,
239 certains composants, ayant été en contact avec de l'humidité, des polluants ou ayant perdu leur fonctionnalité
240 ou leur aspect par exemple, ne peuvent être réemployés. Par conséquent, il faut tenir compte du rendement du
241 réemploi qui diffère entre chaque composant. La quantité de produit i , en kg, réellement réemployée,
242 $Réemploi_{Composant\ i}$ est ensuite estimée selon l'équation [1] ci-dessous :

243
$$Réemploi_{Composant\ i} = M_{Composant\ i} \times \tau_{réemploi\ composant\ i} \quad [1]$$

244 *Équation 1 : Estimation de la quantité de chaque composant réemployé.*

245 OÙ $M_{Composant\ i}$ est la masse totale de composant déconstruit en kg et où le taux de réemploi
 246 $\tau_{réemploi\ composant\ i}$ définit le pourcentage massique du produit i qui peut être réemployé. Ainsi,
 247 $1 - \tau_{réemploi\ composant\ i}$ est le taux de perte associé aux dommages fonctionnels, physiques et de traitement
 248 évoqué précédemment qui diminuent la possibilité de réemploi d'un produit ou d'un matériau. Ce taux peut être
 249 considérablement élevé du fait que la plupart des bâtiments n'ont pas été conçus de manière à favoriser le
 250 réemploi et le recyclage des matériaux (Arora *et al.*, 2020). Notons que la facilité de récupération d'un même
 251 élément de construction peut varier d'un chantier à l'autre ainsi qu'à l'intérieur d'un même bâtiment selon les
 252 modalités de mise en œuvre du composant. C'est pourquoi un taux de réemploi englobant toutes les
 253 problématiques liées au réemploi est utilisé. Pour le déterminer, toutes les conditions que doit vérifier un produit
 254 pour être réemployé doivent être identifiées et quantifiées.

255 Si on prend l'exemple des isolants en laine minérale, on ne peut réemployer que les isolants ayant été
 256 fabriqués après l'année 2000 pour des questions de conformité aux exigences des réglementations thermiques
 257 du bâtiment et de santé. De plus, pour des raisons de facilité de démontage, les isolants avec des fixations
 258 mécaniques se prêtent davantage au réemploi que ceux collés, le reste des isolants (fabriqués avant 2000 et/ou
 259 avec un autre mode de fixation) ne sont pas considérés comme des flux potentiellement réemployables. Le taux
 260 de réemploi prend donc en compte ces caractéristiques. La figure 1 présente schématiquement ce mode de
 261 réflexion.



262
 263 *Figure 1: Exemple de paramètres déterminant le taux de réemploi (en pointillé les paramètres excluant le*
 264 *réemploi)*
 265

266 2.2.4 Détermination du taux de recyclage

267 Les composants qui ne peuvent pas être réemployés peuvent cependant parfois être recyclés. L'une des
 268 hypothèses de cette étude étant que la hiérarchie du traitement des déchets est toujours respectée, il est

269 possible de calculer la masse du produit recyclé i , $Recyclage_{Composant\ i}$ en kg, à partir des éléments identifiés ci-
 270 dessus (équation [2]).

$$271 \quad Recyclage_{Composant\ i} = (M_{Composant\ i} - Réemploi_{Composant\ i}) \times \tau_{recyclage\ composant\ i} \quad [2]$$

272 *Équation 2 : Estimation de la quantité de chaque composant recyclé*

273 Comme précédemment, un taux de recyclage, $\tau_{recyclage\ composant\ i}$ en %, est appliqué à la masse de
 274 composant restante en kg ; soit la masse totale du composant i , $M_{Composant\ i}$, à laquelle on retire celle qui est
 275 réemployée $Réemploi_{Composant\ i}$, toutes deux exprimées en kg. Le taux de perte $1 - \tau_{recyclage\ composant\ i}$ peut
 276 prendre en compte l'efficacité des procédés de recyclage, la pollution des produits ou d'autres problématiques
 277 qui réduisent les possibilités de recyclage.

278 2.2.5 Détermination des usages secondaires disponibles

279 Au final, les matériaux et composants déconstruits non réemployés pourront potentiellement faire
 280 l'objet de plusieurs usages secondaires, sous forme de valorisation matière dans le secteur du bâtiment. Il s'agit
 281 maintenant de les quantifier. Le potentiel de l'usage k (en kg) est déterminé à partir de l'équation [3]. Le terme
 282 potentiel est utilisé car, en théorie, il est possible d'attribuer la totalité du stock d'un usage/produit valorisé au
 283 secteur du bâtiment. En pratique, les usages secondaires sont souvent partagés avec d'autres secteurs comme
 284 les travaux publics (exemple : la fabrication de béton à partir de granulats recyclés sert pour le secteur du BTP).

$$285 \quad Potentiel\ usage_k = \sum_i \begin{cases} Réemploi_{Composant\ i} \times \%usage_{k,i} & \text{si le réemploi du composant } i \text{ permet l'usage } k \\ Recyclage_{Composant\ i} \times \%usage_{k,i} & \text{si le recyclage du composant } i \text{ permet l'usage } k \\ 0 & \text{si le composant } i \text{ ne peut permettre l'usage } k \end{cases} \quad [3]$$

286 *Équation 3: Estimation de la quantité de chaque composant pouvant faire l'objet d'un usage secondaire*

287 Le terme $\%usage_{k,i}$ correspond à la part de l'usage secondaire k après une des filières de valorisation
 288 (réemploi ou recyclage) du composant i . Comme le montre la figure 2, plusieurs composants peuvent être à
 289 l'origine du même usage secondaire. Par exemple, des éléments en en béton et les briques en terre cuite peuvent
 290 être concassées pour produire du béton.

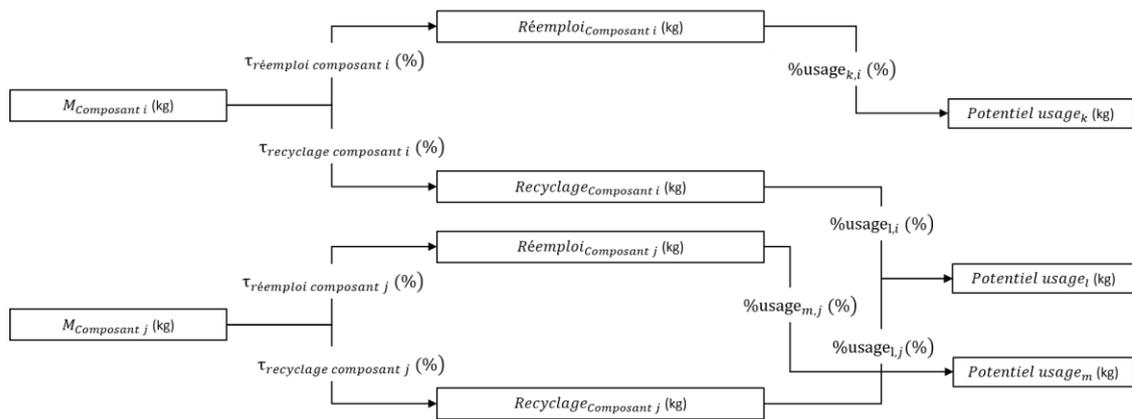


Figure 2: Schéma simplifié des données à quantifier et l'unité dans laquelle elles sont exprimées

291 2.2.6 Conversion en unités fonctionnelles pour faire correspondre aux besoins de réemploi

292 Comme évoqué précédemment, pour le réemploi, il est nécessaire d'exprimer les produits secondaires
 293 dans leur unité fonctionnelle (U) plutôt qu'en masse. L'étape suivante (équation [4]) consiste à convertir les
 294 masses dans la bonne unité à l'aide de poids unitaires. Rappelons que cette étape n'est pas nécessaire pour le
 295 recyclage car ce procédé produit des ressources, le kg est donc une unité adaptée.

296
$$Potentiel\ usage_k [U] = \frac{Potentiel\ usage_k [kg]}{Poids\ unitaire [kg/U]} \quad [4]$$

297 Équation 4: Facteur de conversion en unité fonctionnelle

298 2.3 Sources de données

299 2.3.1 Recherche bibliographique

300 L'évaluation des données est faite en partie par une recherche bibliographique afin d'estimer les taux
 301 de valorisation théoriques, les points d'attention techniques empêchant le réemploi ou le recyclage, les usages
 302 secondaires retrouvés à l'issue des diverses filières ainsi que les périmètres d'intervention de ces dernières.

303 La volonté de quantifier les différents ratios présentés ci-dessus pour des pratiques de valorisation ou
 304 d'usages secondaires, qui sont parfois émergentes, nous a conduits à proposer une table de correspondance
 305 entre les vocables pouvant décrire l'intensité d'une pratique et des valeurs de taux (tableau 3)..

306 Tableau 2: Grille de conversion mots-taux

Taux	Mots retrouvés dans la littérature
0 à 1%	Presque jamais, quasiment nul, impossible
1 à 20%	Parfois, peu, rarement, difficilement
21 à 50%	Souvent, couramment, facilement
51 à 80%	Principalement, majoritairement, généralement, la plupart du temps, très facilement
81 à 100%	Presque toujours

307 2.3.2 Enquêtes auprès d'acteurs de valorisation

308 Dans un deuxième temps, des enquêtes auprès d'acteurs du réemploi et du recyclage permettent
309 d'obtenir l'avis d'experts. Un questionnaire leur a été adressé lors d'entretiens à propos de l'activité de leur
310 structure (intervention dans la chaîne de valeur, matériaux reçus...), les taux de valorisation et ce qui advient des
311 invendus, les obstacles que leur filière peut rencontrer. Dans le but de compléter les informations trouvées lors
312 de la phase d'étude de la littérature, les entretiens étaient clôturés avec des questions spécifiques aux produits
313 cités dans le tableau 1. Le tableau 2 présente les acteurs contactés.

314 *Tableau 3: Typologie des acteurs de réemploi contacté (AMO : Assistant maître d'ouvrage ; BET :Bureau d'étude technique)*

Acteur	Typologie d'acteur	Région
ECOMAT38	Déconstruction, Plateforme de reconditionnement	Auvergne Rhône Alpes
Cycle Up	AMO réemploi, Marketplace	Ile-de-France
Backacia	AMO réemploi, Marketplace	Ile-de-France
Elan (Bouygues)	AMO réemploi, Plateforme de reconditionnement, Entreprise de travaux	Ile-de-France
La ressourcerie du BTP	Plateforme de reconditionnement, Entreprise de travaux	Ile-de-France
Tricycle	Plateforme de reconditionnement, AMO réemploi	Ile-de-France
Remix	AMO réemploi, BET spécialisé	Ile-de-France

315 **3 Application de la méthode à la filière des briques en terre cuite et Discussion**

316 Afin de valider la méthode proposée, cet article en propose une application sur le cas des briques en
317 terre cuite que l'on peut retrouver à l'issue des chantiers de démolition et de rénovation en Ile de France en
318 2020.

319 **3.1 Application de la méthode à la filière des briques en terre cuite**

320 Bien que chacun des produits des familles de déchets du tableau 1 ait été étudié, la section suivante
321 présente uniquement l'application de la méthode et les résultats pour les briques en terre cuite issues des
322 bâtiments démolis et rénovés en 2020 en Île-de-France. Trois types de briques sont comptabilisés par le modèle
323 de BTPflux : les briques pleines, les briques creuses, toutes deux utilisées pour les murs de structure et les briques
324 creuses présentes dans les cloisons, appelées briques plâtrières parce qu'elles sont hourdées au plâtre. Le
325 modèle d'analyse de flux de matière a permis d'estimer les masses sortant du parc immobilier de ces trois types
326 de composants :

327
$$M_{\text{Briques pleines}} = 75 \text{ kt} ; M_{\text{Briques creuses}} = 52 \text{ kt} ; M_{\text{Briques plâtrières}} = 26 \text{ kt}.$$

328 Dans un premier temps, nous avons estimé les différents taux de réemploi, pour chaque type de briques.
329 Les briques pleines n'ayant pas été en contact avec de l'eau ou des polluants de manière persistante peuvent

330 être réemployées. Il faut donc exclure du réemploi toutes les briques ayant été utilisées pour les sous-sols, les
331 cheminées, les fondations, etc. (CDR Construction, sans date; FCRBE, 2021), ce qui est fait par BTPflux. Ensuite,
332 nous considérons la possibilité de réemployer des briques pleines seulement selon le mortier avec lequel elles
333 sont assemblées (FCRBE, 2021). Un mortier tendre à base de chaux rend la dépose relativement aisée, alors qu'un
334 mortier-colle ou un ciment complique largement cette dernière (FCRBE, 2021). Bien que la plupart des études
335 indiquent que la seconde méthode d'assemblage rend difficile voire impossible la dépose des matériaux, une
336 étude de Zhou et al. (2020) a montré qu'il était tout de même possible de déposer correctement plus de 95% de
337 ces briques. Enfin, d'après (FCRBE, 2021), après la dépose un tri est effectué et 50 à 70% des briques pleines
338 peuvent être réemployées. Ainsi, en combinant tous les paramètres (type de mortier, rendement de la dépose
339 et du tri) $\tau_{\text{réemploi brique pleine}}$ a été estimé entre 31 et 67,5%.

340 Les briques creuses et les briques de plâtre sont de mauvaises candidates pour le réemploi avec un taux
341 de réemploi inférieur à 1% en raison de leur grande fragilité ($\tau_{\text{réemploi brique creuse}}$, $\tau_{\text{réemploi brique plâtrières}}$ estimés
342 entre 0 et 1%). Néanmoins, elles peuvent être recyclées après avoir été séparées du plâtre ou de l'enduit les
343 recouvrant. En France, une seule filière procède à cette séparation et elle se trouve en Auvergne-Rhône Alpes
344 (Démoclès, sans date; SEDDRé et ADEME, 2020). Ce procédé étant techniquement réalisable, il est donc
345 considéré que toutes les briques franciliennes peuvent en bénéficier. Lors de la visite sur le site séparant les
346 briques et le plâtre, il nous a été indiqué que les briques plâtrières arrivant sur le site étaient recyclées à 100%
347 (le remblaiement étant comptabilisé ici). En supposant que certaines briques, polluées par exemple, ne peuvent
348 pas être intégrées dans une filière de recyclage (pollution, ...), on préférera prendre un taux de recyclage plus
349 faible en accord avec notre grille de correspondance (tableau 3), soit des
350 $\tau_{\text{recyclage brique creuse}}$ et $\tau_{\text{recyclage brique plâtrières}}$ entre 81 et 100%.

351 La littérature et les entretiens avec les acteurs des filières possibles pour les briques issues de la
352 démolition ou déconstruction ont permis d'identifier les différents usages des briques valorisées. Il peut s'agir
353 aussi bien de composants destinés au secteur du bâtiment (brique pour maçonnerie porteuse, granulats pour la
354 fabrication de béton, etc.) que de produits valorisés en boucle ouverte (aménagement paysager, terrains de
355 tennis, etc.). Notons cependant que les différents usages potentiels dépendent du niveau de qualité intrinsèque
356 des matériaux récupérés. Ainsi, nous supposons qu'une brique pleine initialement utilisée en maçonnerie
357 porteuse peut potentiellement convenir à tout usage secondaire, alors qu'une brique initialement utilisée en

358 parement ne pourra pas convenir à un usage structurel. En matière de recyclage, deux " familles " peuvent être
359 identifiées : les matériaux qui peuvent être utilisés pour reconstituer des produits (béton, éléments de silicate
360 de calcium, etc.) et ceux qui sont utilisés tels quels pour une certaine fonction (technique routière, amendement,
361 etc.). Les éléments en terre cuite peuvent être recyclés pour produire d'autres composants, ce qui permet de
362 valoriser des produits ayant une qualité inférieure à ceux réemployable car le produit est physiquement détruit
363 par le procédé de recyclage, mais cette opération consomme beaucoup d'énergie.

364 D'après la plupart des acteurs que nous avons rencontrés, le réemploi opère généralement au niveau
365 de chaque département, le plus souvent dans un rayon de 50 km maximum. Les éléments rares ou en grande
366 quantité peuvent justifier un transport plus lointain. Les briques sont des produits relativement lourds, il se peut
367 donc que le réemploi opère encore plus localement. D'après (Bazzana, Monfort et Rodrigues, 2018; SEDDRé et
368 Crowe Sustainable Metrics, 2018), le recyclage est réalisé dans un rayon de 30km pour les déchets inertes.

369 Enfin, d'après la base de données des produits et équipements du bâtiment INIES, les briques de
370 maçonnerie et de parement font en moyenne respectivement 210 kg/m² et 131 kg/m². On peut donc estimer
371 des quantités correspondant à 21 341m² de briques de maçonnerie et 135 687m² de briques de parement
372 disponibles annuellement, en 2020, en Ile de France, pouvant être réemployées dans des travaux de
373 constructions neuves et réhabilitation.

374 Tous ces résultats sont représentés sur un diagramme de Sankey que nous avons développé à partir
375 d'un programme python diffusé par plotly.com.

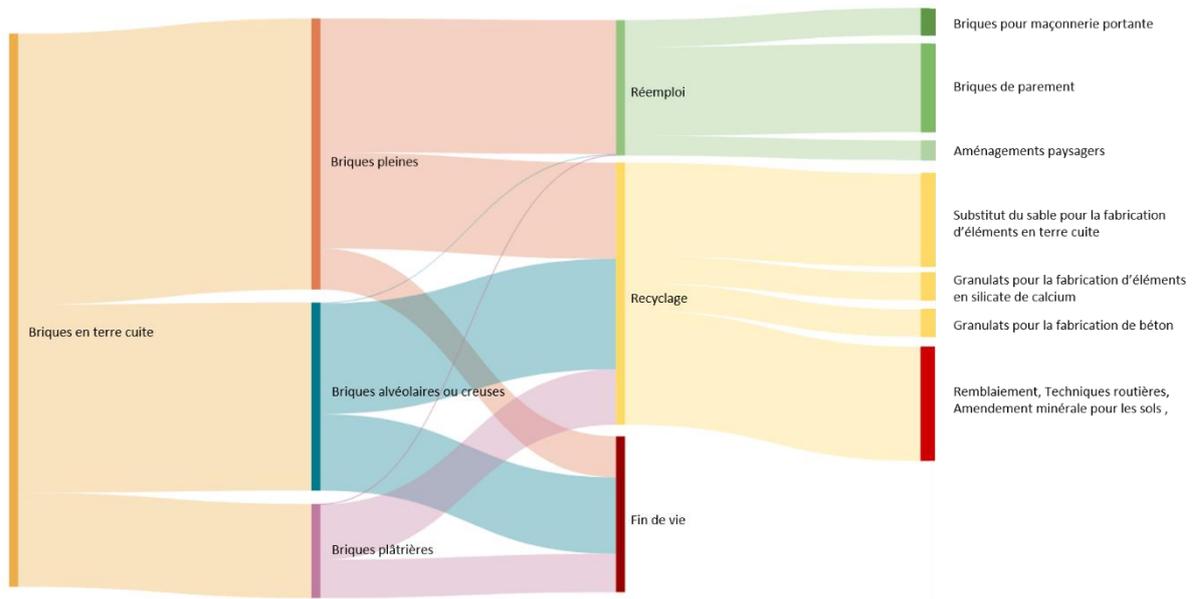


Figure 3: Flux de valorisation des briques pour la région Ile-de-France en 2020, en vert les usages avec les qualités fonctionnelles supérieures, en rouge avec les qualités fonctionnelles inférieures.

376

377

378

379

380

La figure 3 représente, par une largeur proportionnelle à la masse mise en œuvre à chaque étape, les

381

différentes données d'entrée ainsi que les différents débouchés possibles pour ces briques.

382

3.2 Limites et opportunités de recherche

383

Les résultats ci-dessus sont le fruit de plusieurs approximations qui altèrent les données finales. En effet,

384

la recherche bibliographique fournit parfois des données chiffrées sur les taux de réemploi et de recyclage sans

385

préciser à quelle échelle ils s'appliquent (données nationales, régionales...). Il n'est donc pas toujours facile de

386

définir le périmètre de la donnée ainsi collectée alors que notre étude se concentre sur un territoire particulier.

387

De plus, les données trouvées dans la littérature prennent généralement en compte le contexte actuel,

388

elles intègrent donc les freins réglementaires, économiques et assurantiels actuels. Les données estimées par la

389

méthode de cet article ne sont donc que des approximations et méritent de garder à l'esprit que les taux

390

théoriques peuvent être sous ou surestimés.

391

Des rayons d'opérations des différentes filières ont été estimés. Or, le modèle BTPflux permet

392

actuellement de quantifier les déchets au niveau national, régional, départemental ou de la commune. Les rayons

393

d'opération et le découpage territorial ne coïncident donc pas toujours et peuvent induire des erreurs.

394

Certains auteurs ont évalué l'impact environnemental de leur scénario (composants recyclés, ou

395

réemployés après la déconstruction), c'est le cas notamment d' Ajayebi et al. (2020) et de Yang et al. (2022) qui

396 ont réalisé une analyse de cycle de vie des pratiques d'économie circulaire. L'étude de Stephan & Athanassiadis
397 (2018) souligne que privilégier le réemploi ou le recyclage peut permettre des économies de ressources,
398 d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre, et l'évaluation de ces économies permet aux décideurs de mieux
399 comprendre les enjeux de telles stratégies de gestion des déchets. Ajayebi et al. (2020) ont également souligné
400 le fait que la récupération et la valorisation des produits de construction doivent être bénéfiques sur le plan
401 environnemental, ce que la présente étude n'a pas cherché à évaluer. Les acteurs du réemploi que nous avons
402 rencontrés ont surtout pointé du doigt le transport comme source d'impact environnemental de leur activité et
403 même ce dernier restait inférieur à celui d'un produit neuf, ils soulignent l'intérêt d'établir des distances critiques
404 au-delà desquelles l'impact généré par le transport dépassent les bénéfices du réemploi ou du recyclage par
405 rapport à d'autres pratiques (incinération, enfouissement). Il peut également être pertinent de comparer
406 l'impact des différentes filières afin d'évaluer lesquelles sont les plus adaptées à chaque produit. Une étude par
407 composant peut également indiquer lesquels permettent les plus grandes économies. D'après un acteur que
408 nous avons rencontré, sur un de leur chantier, la masse des éléments du second œuvre ne représentait que 0,2%
409 de la totalité des déchets des bâtiments déconstruits mais le réemploi de ces matériaux du second œuvre ont
410 permis d'économiser 15% des tonnes équivalents CO₂ émis par le chantier (EPFL Dauphiné *et al.*, 2021).

411 Le potentiel économique est également discuté dans certaines études (Ajayebi et al., 2020; Zhou et al.,
412 2020) ce que nous n'avons pas considéré ici. La prise en compte de ce critère pourrait être une perspective à ce
413 travail d'autant plus que des études récentes et nos entretiens, ont montré que, même avec un besoin en main-
414 d'œuvre plus important, les filières de valorisation pouvaient être bénéfiques sur le plan économique pour
415 certains produits. L'économie circulaire sera sûrement plus discutable pour des composants ayant un coût très
416 faible neuf. Néanmoins, dans un contexte d'épuisement des ressources, les enjeux économiques pourraient
417 potentiellement passer au second plan et ne plus être une préoccupation majeure.

418 Enfin, ce projet se voulait prospectif dans les méthodes et les moyens mis en place pour intégrer
419 l'économie circulaire dans la société mais chaque acteur peut être libre de le rendre prospectif du point de vue
420 temporel. Il pourrait être intéressant d'estimer les quantités de déchets pouvant être générés dans le futur
421 permettant ainsi aux décideurs d'établir des plans de gestion des déchets sur une longue période.

422 **4 Conclusion**

423 Afin de gérer de manière plus durable les quantités de ressources consommées et de déchets produits,
424 les stocks de matériaux méritent une plus grande attention dans les recherches sur les mines urbaines. En effet,
425 l'élaboration de stratégie d'économie circulaire passe par une étude approfondie des dynamiques du stock
426 immobilier dans différents cadres spatiaux. Cette étude propose d'établir une méthode pour quantifier, pour
427 chaque type de produit, les flux sortants du parc immobilier dans le cadre de démolitions ou de rénovations,
428 recensant et quantifiant les différentes filières de valorisation matière (réemploi, recyclage) ainsi que les usages
429 secondaires de ces flux. Ces derniers ont été exprimés en unité fonctionnelle pour permettre aux décideurs de
430 comparer leur disponibilité avec la demande en produits et équipements de construction (un besoin sera exprimé
431 en nombre de fenêtres, par exemple et non en kg de fenêtre). Pour considérer spatialement les gisements les
432 plus adaptés, cette comparaison doit se faire dans le périmètre d'opération des différentes filières. Le cas des
433 briques en Ile-de-France a montré qu'en favorisant le réemploi puis le recyclage, plus de 21 000 m² de murs de
434 structure en briques pourraient être rebâties et que 9,2kt de granulats pourraient servir à fabriquer du béton.

435 La méthode proposée pourrait également être utilisée pour déterminer les matériaux qui vont sortir du
436 stock en grandes quantités et essayer de les exploiter. Selon Yang et al. (2022), beaucoup de briques pleines en
437 terre cuite sont déconstruites mais elles sont peu demandées pour de nouvelles constructions. En cas de pénurie
438 de ressources, les politiques publiques pourraient encourager le réemploi des produits qui ne sont plus utilisés,
439 mais cet objectif peut entrer en contradiction avec les objectifs de performances thermiques des bâtiments. En
440 outre, la prévention des déchets doit être privilégiée avant d'autres modes de gestion de ces derniers. La
441 conception de nouveaux bâtiments peut se faire en considérant les freins et les leviers à la valorisation des
442 produits le composant. Par exemple, il peut être choisi de ne plus utiliser de mortier colle ou de ciment pour
443 assembler les murs en briques de sorte à en faciliter la dépose sélective. Par ailleurs, plusieurs acteurs interrogés
444 ont soulevé le fait que la réglementation de la construction n'était pas toujours adaptée au réemploi, alors que
445 cette pratique était auparavant davantage appliquée. Autant d'éléments qui peuvent guider les décideurs pour
446 faciliter ou non les filières de valorisation afin de rendre le secteur du bâtiment plus circulaire.

447 **5 Remerciements**

448 Les auteurs remercient le groupement scientifique EEDEMS pour le financement du stage de Sarah
449 Clavier. Les auteurs remercient également Benjamin Darçot pour son aide au développement informatique.

450 **6 Références**

451 ADEME (2020). Déchets chiffres-clés, L'essentiel 2020.

452 ADEME (2021). Transition(s) 2050, choisir maintenant agir pour le climat.

453 A. Ajayebi, P. Hopkinson, K. Zhou, D. Lam, H.M. Chen et Y. Wang (2020). Spatiotemporal model to
454 quantify stocks of building structural products for a prospective circular economy. *Resources, Conservation and*
455 *Recycling*, **162**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105026>.

456 M. Arora, F. Raspall, L. Cheah et A. Silva (2020). Buildings and the circular economy: Estimating urban
457 mining, recovery and reuse potential of building components. *Resources, Conservation and Recycling*, **154**, 2-8.
458 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104581>.

459 M. Arora, F. Raspall, L. Fearnley et A. Silva (2021). Urban mining in buildings for a circular economy:
460 Planning, process and feasibility prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, **174**, 2-10.
461 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105754>.

462 M. Bazzana, D. Monfort et J. Rodrigues (2018.) Base de données ratios matériaux et déchets.

463 CDR Construction (sans date). Manuel de démontage avec une finalité de réemploi, briques.

464 CSTC (2019). Chantiers pilotes de gestion innovante des déchets de construction à Bruxelles.

465 Démocles (sans date). La valorisation des briques plâtrières. [https://www.democles.org/fiche/briques-](https://www.democles.org/fiche/briques-platrieres/)
466 [platrieres/](https://www.democles.org/fiche/briques-platrieres/) (Consulté le: 7 avril 2022).

467 EPFL Dauphiné, P. Gentil, C. Magnin-Feysot et J. Rochet (2021). OPÉRATION PILOTE CADRAN SOLAIRE.

468 FCRBE (2021). FICHES MATÉRIAUX, REUSE TOOLKIT. www.opalis.eu (Consulté le: 14 avril 2022).

469 Institut Paris Région (2021). BÂTIR L'AMÉNAGEMENT CIRCULAIRE. *Les carnets pratiques de l'institut*
470 *Paris Région*, **12**, 1-116.

471 A. Koutamanis, B. van Reijn et E. van Bueren (2018). Urban mining and buildings: A review of possibilities and
472 limitations. *Resources, Conservation and Recycling*, **138**, 32-39.
473 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.024>.

474 F. Krausmann, D. Wiedenhofer, C. Lauk, W. Haas, H. Tanikawa, T. Fishman, A. Miatto, H. Schandl, et H.
475 Haberl (2017). Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual
476 resource use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114(8)**, 1880-
477 1885. <https://doi.org/10.1073/pnas.1613773114>.

478 MTE (2020a). Déchets du bâtiment. <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment> (Consulté le: 13
479 juin 2022).

480 MTE (2020b). L'économie circulaire. <https://www.ecologie.gouv.fr/leconomie-circulaire> (Consulté le: 13
481 juillet 2022).

482 SDES (2021). Bilan environnemental de la France. [https://www.statistiques.developpement-](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/bilan-environnemental/16-production-de-dechets-et-recyclage)
483 [durable.gouv.fr/edition-numerique/bilan-environnemental/16-production-de-dechets-et-recyclage](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/bilan-environnemental/16-production-de-dechets-et-recyclage) (Consulté
484 le: 13 juin 2022).

485 SEDDRe et ADEME (2020). Etude sur les pratiques de tri sur les chantiers de déconstruction.
486 www.ademe.fr/mediatheque.

487 SEDDRe et Crowe Sustainable Metrics (2018). Empreinte carbone de la valorisation des déchets du
488 bâtiment en France.

489 A. Stephan, et A. Athanassiadis (2018). Towards a more circular construction sector: Estimating and
490 spatialising current and future non-structural material replacement flows to maintain urban building stocks.
491 *Resources, Conservation and Recycling*, **129**, 248-262. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.022>.

492 R. Tirado, A. Aublet, S. Laurenceau, M. Thorel, M. Louërat et G. Habert (2021). Component-based Model
493 for Building Material Stock and Waste-Flow Characterization: A Case in the Île-de-France Region. *Sustainability*
494 *(Switzerland)*, **13(13159)**, 1-34. <https://doi.org/10.3390/su132313159>.

495 X. Yang, M. Hu, C. Zhang et B. Steubing (2022). Urban mining potential to reduce primary material use
496 and carbon emissions in the Dutch residential building sector. *Resources, Conservation and Recycling*, **180**, 1-10.
497 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106215>.

498 K. Zhou, H.M. Chen, Y. Wang, D. Lam, A. Ajayebi et P. Hopkinson (2020). Developing advanced
499 techniques to reclaim existing end of service life (EoSL) bricks – An assessment of reuse technical viability.
500 *Developments in the Built Environment*, **2**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.DIBE.2020.100006>.