

— FLUX DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET DÉCHETS DE CHANTIERS EN ÎLE-DE-FRANCE : QUEL RÔLE DES PROCESSUS D'URBANISATION ?

Vincent Augiseau

Enseignant- chercheur,
Unilasalle Rennes – Ecole des Métiers
de l'Environnement,
«Co-gérant de CitéSource»

Courriel :

vincent.augiseau@unilasalle.fr

RÉSUMÉ

Les matériaux de construction sont les premières matières consommées par l'humanité et les déchets de chantiers les premières émissions vers la nature après l'eau. Portant sur le cas de l'Île-de-France, cet article vise à analyser les flux de matériaux et déchets de chantiers au regard des processus d'urbanisation afin de mieux comprendre comment une action sur ces processus permettrait de réduire les flux.

Nous montrons que la construction et la démolition de bâtiments génèrent les premiers flux régionaux de matières, tandis que les réseaux occasionnent de forts flux pour leur renouvellement. Réduire ces flux implique de limiter l'extension de l'espace urbanisé tout en contrôlant les opérations de démolition - reconstruction par une autre mise à disposition de logements et locaux d'activité que la construction.

MOTS-CLÉS

Matériaux de construction, métabolisme urbain, renouvellement urbain, économie circulaire

ABSTRACT

Construction materials are the first flows generated by human activities and C&D waste the first emissions to nature after water. Focusing on Paris region, this article aims to analyse construction materials and C&D waste flows with regard to urbanisation processes in order to better understand how acting on these processes could reduce flows.

We show that constructing and demolishing buildings generate the first regional flows of materials, while renewing networks create strong flows. Limiting the extension of urbanised space as well as controlling demolition and reconstruction operations by providing housing and business premises other than through construction are necessary to reduce flows.

KEYWORDS

Construction materials, urban metabolism, urban renewal, circular economy.

—

— INTRODUCTION

Les villes génèrent plus des trois-quarts de la consommation mondiale de matières et d'énergie (Hodson *et al.*, 2012 ; Swilling *et al.*, 2013). Cette consommation s'est fortement intensifiée depuis la seconde moitié du XXe siècle (Krausmann *et al.*, 2009 et 2017) et pourrait encore doubler d'ici 2060 par rapport à 2011 (OECD, 2018). Les matériaux de construction sont les premières matières consommées par l'humanité après l'eau tandis que les déchets de chantiers constituent les premiers déchets solides (*ibid.*). Le développement et le renouvellement des villes impliquent une importante extraction de ressources naturelles en grande partie non renouvelables et parfois en situation de raréfaction : à l'échelle mondiale comme le cuivre (Gordon *et al.*, 2006) ou à une échelle locale comme le sable (UNEP, 2014). De plus, les déchets de chantiers sont peu utilisés dans la construction (Krausmann *et al.*, 2017). Leur mode de gestion dominant, l'enfouissement, transforme les paysages et génère, de même que la production de matériaux, conflits d'usages des sols et impacts environnementaux.

Afin de répondre à ces enjeux, les travaux dirigés par l'International Resource Panel du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (IRP, 2018) préconisent de réduire les flux de matériaux et déchets en agissant sur les processus d'urbanisation. Ces travaux pointent notamment le risque que représenterait un fort étalement urbain au sein des pays en développement. La réduction des flux de matières « suppose de repenser la forme des agglomérations urbaines pour minimiser les stocks d'infrastructures [et] diminuer les consommations de ressources induites par la structure et l'étalement du tissu urbain » (Erkman, 2004, p. 182).

Or, la relation entre urbanisation et flux de matériaux et déchets est peu étudiée. En effet, si des travaux de recherche menés depuis la fin des années 1990 permettent de mieux connaître ces flux, beaucoup d'études ne portent que sur les bâtiments. Lorsque les réseaux sont considérés, la relation entre ces ouvrages et les bâtiments, résultant de leur inscription dans l'espace n'est généralement pas analysée. La ville constitue alors une juxtaposition d'ouvrages bâtis (Augiseau et Barles, 2017). De même, tandis qu'un « plan ou un projet d'urbanisme a aussi un volume [...], une masse et un contenu énergétique » (Barles, 2015, n. p.), l'impact des plans et projets d'urbanisme sur la consommation de matériaux et la génération de déchets ne constitue que rarement un critère de décision pour les acteurs de l'urbain (Kennedy *et al.*, 2011).

La mise en relation de la planification urbaine et des planifications concernant l'approvisionnement en matériaux et la gestion des déchets de chantiers est nécessaire pour répondre aux enjeux que connaît la région Ile-de-France. Tandis qu'une étude menée en 2012 à la demande de la Préfecture d'Ile-de-France (DRIEE, 2012) montrait le risque de tensions sur les ressources régionales en granulats (sables et graviers), en particulier les granulats alluvionnaires qui pour-

raient ne plus pouvoir être extraits dans moins de cinquante ans (DRIRE Haute-Normandie, 1999), et qu'un diagnostic mené dès 2012 par le Conseil régional (CR IdF, 2013c) faisait apparaître la saturation des installations de stockage des déchets de chantiers, le Schéma directeur de la région Ile-de-France (SDRIF) adopté en 2013 vise une hausse de la construction annuelle de logements et le doublement de la longueur du réseau ferré pour 2030 (CR IdF, 2013a).

Le Schéma des carrières et le plan de prévention et de gestion des déchets élaborés jusqu'en 2020 respectivement par la Préfecture et le Conseil régional d'Ile-de-France visent à anticiper l'effet de l'atteinte de ces objectifs sur les ressources minérales et déchets. La recherche initiée dans le cadre d'une thèse financée par ces deux organismes, menée au Laboratoire Géographie-Cités de d'octobre 2014 à décembre 2017 et dirigée par S. Barles, vise à produire et analyser des données sur les flux actuels de matériaux et déchets, ainsi qu'à projeter ces flux selon des scénarios tenant compte des processus d'urbanisation (ainsi que des perspectives de valorisation des déchets). Cette recherche est depuis poursuivie, notamment dans le cadre d'une étude menée avec CitéSource et Néo-Eco en 2019 pour l'établissement public territorial d'Est Ensemble au nord-est de Paris.

Cet article vise dans un premier temps à identifier les types de chantiers qui génèrent des flux de matériaux et déchets au sein de la région Île-de-France en 2013 ainsi que les enjeux associés à ces flux. Il vise dans un second temps à analyser ces flux au regard des processus d'urbanisation qui les ont générés afin d'esquisser ensuite des pistes pour une action sur ces processus qui répondrait aux enjeux identifiés. Cet article sera composé de deux parties. Tout d'abord, la méthode d'estimation des flux sera justifiée et présentée de façon synthétique (cette méthode est décrite très précisément dans la thèse ; voir Augiseau, 2017). Dans un deuxième temps, les résultats seront présentés : les consommations de matériaux puis les générations de déchets seront analysées au regard des processus d'urbanisation, puis des pistes d'action pour une évolution des processus d'urbanisation favorable à une réduction des flux et impacts associés seront proposées.

— MÉTHODE

CHOIX ET PRÉSENTATION

Afin de répondre aux questions posées dans le cadre de notre recherche, une méthode d'estimation des flux reposant sur une approche par type d'ouvrages bâtis et *action sur ces ouvrages* (construction, démolition, renouvellement) a été développée. Une telle approche a été utilisée sur le cas du Canton de Genève par M. Faist Emmenegger et R. Frischknecht (2003) et s'appuie sur les bases théoriques pour l'étude du métabolisme d'un territoire définies par P. Baccini et P. H. Brunner

(1991). Cette approche permet de relier les flux de matières aux processus qui les génèrent. Elle répond ainsi aux limites des quatre autres principales approches pouvant être utilisées pour estimer des flux de matériaux de construction et déchets de chantiers sur un territoire. Ces approches, leurs principes et limites au regard des objectifs et du cadre de notre étude sont présentés dans le tableau 1. Si une estimation par type d'ouvrages bâtis et action a été privilégiée, un bilan de flux de matières a également été utilisé dans la thèse (Augiseau, 2017) pour analyser certaines caractéristiques de l'approvisionnement en matériaux et de la gestion des déchets de l'Ile-de-France. De plus, les résultats d'enquêtes auprès d'entreprises du bâtiment et travaux publics, de producteurs de matériaux ou de gestionnaires de déchets ont été mobilisés afin de compléter les estimations et valider les résultats.

Approche et exemple d'application	Principe	Limites en termes d'application	Limites en termes de résultats
Traitement de données sur les projets. Matériaux à Orléans par Rouvreau <i>et al.</i> (2012).	Recueil des données sur les masses de matériaux et déchets dans les documents de projets que gèrent les collectivités (à défaut recueil de données sur les dimensions des ouvrages et conversion en masses).	Implique la collaboration des collectivités (adapté pour l'étude d'une ou de quelques communes seulement).	Chantiers et flux souvent non couverts par manque de données, en particulier les démolitions.
Enquête auprès d'entreprises des secteurs bâtiment et travaux publics. Déchets en IdF par CERC IdF (2013), en France par autres cellules économiques régionales et CGDD (2018).	Enquête sur les flux d'un échantillon d'entreprises, conversion en masses par chiffre d'affaire ou nombre d'employés puis extrapolation.	Implique la collaboration des entreprises enquêtées.	Flux liés à la démolition non couverts (CERC IdF, 2013). Flux distingués par secteur d'activité et non par type de chantiers (matériaux excavés reliés uniquement aux travaux publics).
Enquête auprès des producteurs de matériaux et des gestionnaires de déchets. Minéraux en IdF par UNICEM (DRIEE <i>et al.</i> , 2017), déchets en IdF par Conseil régional (2015).	Enquête sur les flux traités par des entreprises de production ou gestion.	Implique la collaboration des entreprises enquêtées.	Importations ou exportations parfois non couvertes. Manque de précision sur origine et destination des flux et types de chantiers qui les génèrent. Flux de déchets selon nocivité (inertes, etc.) et non matériau.
Bilan de flux de matières selon la méthode Eurostat (CGDD, 2014). Matériaux en IdF par Barles (2014), Augiseau (2017)	Récolte et traitement de données sur l'extraction, l'importation, l'exportation, la génération et gestion de déchets.	Dépend de la disponibilité de données.	Précision dépend des données utilisées.
Estimation des flux par type d'ouvrages bâtis et action sur ces ouvrages. Matériaux à Genève par Faist Emmenegger et Frischknecht (2003).	Récolte et traitement de données sur les dimensions des bâtiments et réseaux construits, démolis et renouvelés et conversion en masse.	Dépend de la disponibilité de données.	Flux parfois non couverts par manque de données.

Tableau 1 : Approches méthodologiques d'estimation des flux de matériaux de construction et déchets de chantiers d'un territoire, (source : auteur).

L'estimation des flux par type d'ouvrages bâtis et action sur ces ouvrages est une approche que l'on peut qualifier d'ascendante : l'estimation de l'ensemble des flux résulte de celle de chacun des processus qui génèrent les flux. Ainsi que le montre la figure 1, il s'agit de convertir les dimensions des ouvrages bâtis (volumes, surfaces ou linéaires) en masse par l'intermédiaire de densités. La structure et composition en matériaux de chaque ouvrage bâti ne pouvant être déterminées à une échelle régionale, ni même à l'échelle d'une ville de par la très grande variété des modes constructifs, cette méthode implique de regrouper les ouvrages par ensembles que l'on considère être de composition semblable. Ces groupes sont définis en croisant différents critères, tels que la période de construction pour les bâtiments. Si l'hypothèse d'une homogénéité de la densité de matériaux au sein de groupes d'ouvrages est source d'incertitude, cette hypothèse, fréquemment utilisée (Augiseau et Barles, 2017), permet de réaliser une estimation cohérente à l'échelle régionale.

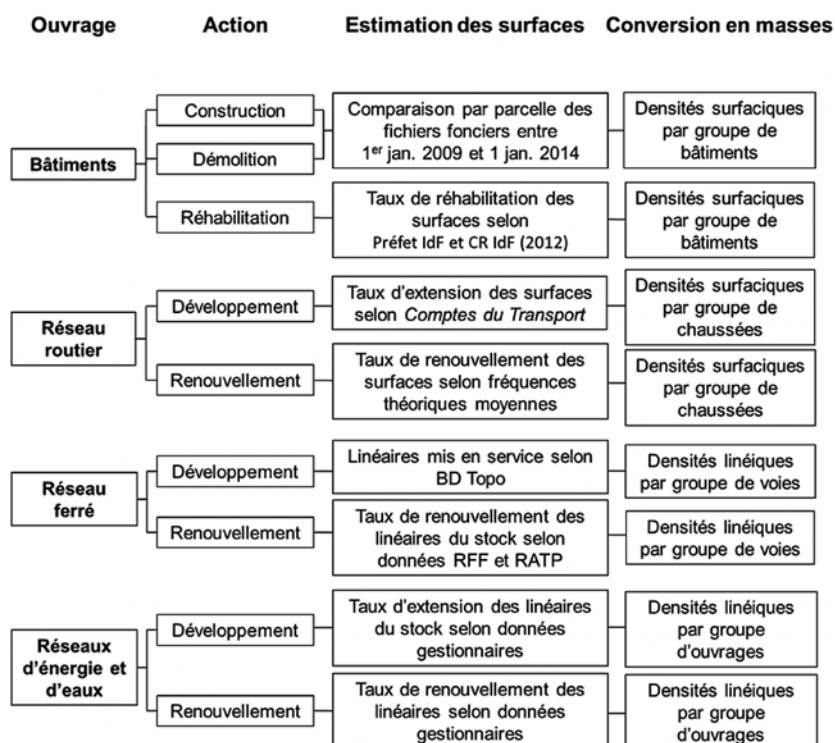


Figure 1 : Principe d'estimation des flux (source : auteur).

SOURCES DES DONNÉES ET INCERTITUDE ASSOCIÉE

Les données disponibles sur les caractéristiques actuelles des ouvrages bâtis en Île-de-France sont très riches. En effet, deux principales sources de données sur les dimensions et caractéristiques des bâtiments et réseaux peuvent être mobilisées : la BD Topo et les fichiers fonciers. La première présente des données à l'échelle de l'objet bâti (bâtiments et réseaux de surface), la seconde à l'échelle du local situé sur une parcelle. Les surfaces de bâtiments construites et démolies ont été estimées par comparaison à l'échelle de la parcelle des fichiers fonciers de 2009 et de 2014. Pour le réseau ferré, les données sur la BD Topo sur les linéaires mis en service en 2013 ont été utilisées. Cette source s'est révélée insuffisante pour estimer l'extension des autres réseaux (valeurs incohérentes au regard d'autres sources pour le réseau routier notamment). Aussi, à défaut de données sur la totalité des surfaces et linéaires de réseaux développés ou renouvelés en 2013, ainsi que sur l'ensemble des surfaces de bâtiments réhabilitées, des taux d'extension, renouvellement et réhabilitation ont été estimés à partir d'informations portant sur une partie de ces surfaces ou linéaires. Il s'agit par exemple des *Comptes des Transports*, statistiques produites chaque année par le CGDD qui indiquent la longueur du réseau routier par catégorie de voie et département. La comparaison de ces longueurs au 31 décembre 2012 et 31 décembre 2013 a permis d'estimer des taux d'extension qui ont été appliqués aux surfaces des chaussées au 1er janvier 2013 selon la BD Topo.

Certains ouvrages ou actions ont été exclus de l'estimation par manque d'informations les concernant : bâtiments dédiés à la culture et aux loisirs, locaux agricoles, tunnels ; flux engendrés par l'entretien ou l'usure des ouvrages, excédents de chantiers lors de la réhabilitation de bâtiments ou lors du développement ou renouvellement de réseaux. La consommation de granulats estimée inclut l'utilisation de ces matières pour produire des bétons, aménager des chaussées routières et développer ou renouveler des réseaux d'énergie et d'eaux. Les autres emplois dans les ouvrages de génie civil, et notamment en remblais, sont exclus. Les densités en matériaux définies par Rouvreau *et al.* (2012) pour Orléans ont été utilisées, cette ville se trouvant dans une situation proche de la région Île-de-France (zone sismique, techniques vernaculaires et normes actuelles).

Cette source de données ainsi qu'une enquête réalisée auprès de professionnels en 2018 (Augiseau, 2018) ne permettent pas à ce jour d'estimer les flux de matériaux excavés par surface ou linéaire construit ou renouvelé. Aussi, une estimation des flux générés selon de grands types de chantiers et issue de dires d'experts (CR IdF, 2015) est utilisée. Cette source ne distinguant pas les flux provenant des réseaux routier et ferré d'une part, de même que du développement ou du renouvellement des réseaux d'énergie et d'eaux d'autre part, les flux ont

été répartis au prorata des surfaces et linéaires de réseaux développés et renouvelés en 2013. Les remblais ne sont pas inclus dans la consommation. Afin de prendre en compte l'incertitude associée à certaines sources de données, les estimations ont été réalisées selon des seuils bas et haut.

L'estimation des flux sur laquelle s'appuie cet article repose sur des sources de données et un traitement de ces dernières qui génèrent une incertitude. L'erreur relative de l'estimation des flux est de l'ordre de 20 à 30 %. La plus importante incertitude porte sur les masses et répartitions de matériaux excavés, le nombre de niveaux en sous-sol construits, les surfaces de locaux d'activité selon les fichiers fonciers, puis dans une moindre mesure les densités surfaciques en matériaux dans les ouvrages et la longueur du réseau routier selon les *Comptes des Transports*. Cependant, les comparaisons menées avec les autres sources de données existantes montrent que les différences sont généralement inférieures à 25 % (surfaces construites ou démolies et caractéristiques des bâtiments concernés au regard des données Sit@delz; consommation de matériaux au regard de l'estimation selon méthode Eurostat (Augiseau, 2017), consommations de granulats, bétons et enrobés au regard des données de l'UNICEM (DRIEE et al., 2017) et du CETE IdF (CR IdF, 2015) ; déchets au regard des études du Conseil régional (2015) et de la CERC IdF (2013)). La poursuite de cette comparaison et l'intégration de nouvelles sources de données issues notamment des professionnels de la construction permettrait de réduire cette incertitude.

— RÉSULTATS

UNE CONSOMMATION DE MATÉRIAUX AU SEIN DE LAQUELLE LA CONSTRUCTION DE BÂTIMENTS PRÉDOMINE

La majorité de la consommation de matériaux de la région Ile-de-France en 2013 provient de la construction de bâtiments. Ainsi que le montre le tableau 2, cette dernière génère les deux-tiers des utilisations des matériaux pris en compte dans notre estimation (voir *Méthode*). Cette part serait moindre selon les données produites par l'UNICEM sur les granulats, matières qui constituent le premier matériau consommé en Ile-de-France. Tandis que la production de bétons (destinée très majoritairement à la construction de bâtiments) représente les deux-tiers de la consommation de granulats selon notre estimation, cette utilisation ne génère que la moitié des flux selon l'UNICEM (DRIEE et al., 2017). La construction de bâtiments reste tout de même le premier poste de consommation de granulats selon cette source, puisqu'elle occasionne également une utilisation de ces matières en remblais.

Cette prédominance de la construction de bâtiments au sein de la consom-

mation régionale de matériaux est une spécificité de l’Île-de-France (DRIEE et al., 2017). En effet, ainsi que le montre le tableau 3, si les données diffusées par l’UNICEM ne permettent pas de comparer les régions entre elles, elles permettent d’observer que l’Île-de-France consacre une part bien plus forte de sa consommation de granulats à la production de bétons que l’ensemble de la France métropolitaine. L’Île-de-France, territoire fortement urbanisé et densément peuplé, a connu une faible extension de son espace artificialisé de 2006 à 2012 (selon Corine Land Cover), ainsi qu’un développement moindre de son réseau routier durant l’année 2013 (selon les *Comptes des Transports*). De ces caractéristiques résulte une consommation par habitant de granulats plus de deux fois inférieure au reste de la France métropolitaine.

		Consommations		Déchets hors matériaux excavés		Matériaux excavés		Ensemble des déchets	
		Seuil bas	Seuil haut	Seuil bas	Seuil haut	Seuil bas	Seuil haut	Seuil bas	Seuil haut
Bâtiments	Construction	1,2	1,4	0,0	0,0	0,9	0,9	0,9	0,9
	Réhabilitation	0,1	0,2	0,1	0,2	0	0	0,1	0,2
	Démolition	0	0	0,6	1,0	0	0	0,6	1,0
	Ensemble	1,3	1,7	0,7	1,2	0,9	0,9	1,6	2,1
Réseau routier	Développement	0,1	0,1	0	0	0,4	0,4	0,5	0,5
	Renouvellement	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0,3	0,3
	Ensemble	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,8	0,8
Réseau ferré	Développement	0,01	0,01	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2
	Renouvellement	0,03	0,03	0,02	0,02	0	0	0,0	0,0
	Ensemble	0,04	0,04	0,02	0,02	0,2	0,2	0,2	0,2
Réseaux d’énergie et d’eaux	Développement	0,01	0,01	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
	Renouvellement	0,02	0,02	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1	0,1
	Ensemble	0,03	0,03	0,02	0,02	0,2	0,2	0,2	0,2
Ensemble des réseaux	Développement	0,1	0,1	0	0	0,7	0,7	0,7	0,7
	Renouvellement	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,4	0,4
	Ensemble	0,5	0,5	0,3	0,3	0,9	0,9	1,2	1,2
Ensemble des ouvrages		1,8	2,1	1,0	1,6	1,7	1,7	2,7	3,3

Tableau 2 : Flux de matériaux de construction et déchets de chantiers par habitant selon les seuils bas et haut de l’estimation, Île-de-France, 2013, t/hab (source : auteur).

	Ile-de-France	France métropolitaine hors Ile-de-France	France métropolitaine
Consommation de granulats par habitant (t/hab)	2,5	6,5	5,8
Part de la consommation de granulats dédiée à la production de bétons (%)	50	31	33
Espace artificialisé en 2012 (%)	22	5	6
Densité de population (hab/ha)	10	1	1
Extension de l'espace artificialisé entre 2006 et 2012 (%)	1,3	3,0	2,9
Extension du réseau routier en 2013 (%)	0,3	0,6	0,6

Tableau 3 : Consommation de granulats et urbanisation, Île-de-France, France métropolitaine hors Île-de-France et France métropolitaine (Sources : DRIEE *et al.* (2017), UNICEM (2013), Corine Land Cover 2006 et 2012, recensement de population INSEE paru en 2015, *Comptes des Transports* 2014)

L'extension relativement faible de l'espace urbanisé en Île-de-France est un phénomène récent initié seulement au début des années 2000 et accentué depuis le milieu de cette décennie. Selon le mode d'occupation des sols de l'IAU IdF, durant les années 1990, le taux d'extension moyen annuel de l'espace urbanisé (notion plus restrictive que l'espace artificialisé) était supérieur à 1 %. Il a été divisé par deux de 2000 à 2008, puis de nouveau par deux entre 2008 et 2012. L'extension passée de l'espace urbanisé a engendré le développement de réseaux dont résulte aujourd'hui d'importantes consommations de matériaux dédiées au renouvellement des ouvrages. En effet, le renouvellement du réseau routier constitue le deuxième poste de consommation de matériaux de la région en 2013. Au sein du réseau routier régional, les voies desservant l'intérieur des communes (voies d'importance 5 selon la BD Topo) dominent. Elles occasionnent la moitié de l'ensemble des flux liés au renouvellement des réseaux.

La comparaison des besoins théoriques moyens annuels de matériaux pour le renouvellement des réseaux routiers de trois quartiers montre l'influence des morphologies urbaines sur ces flux. Ces trois quartiers, représentatifs de formes urbaines régionales, ont été identifiés par V. Fouchier (1997) lors de ses travaux sur la densité des surfaces bâties en Île-de-France. Ils sont homogènes, achevés, d'une superficie supérieure à 5 ha et ont été délimités afin d'éviter de prendre en compte des éléments bâtis hétérogènes. Les plans de ces quartiers sont présentés dans la figure 2. Le premier, Montholon, est représentatif de l'habitat collectif haussmannien (XIXe siècle) caractérisé par un bâti compact et comprenant un square et de larges avenues. Le second, la Ferme du Temple, est représentatif des grands ensembles construits dans les années 1960-1970 et constitué de bâtiments en barres et d'une grande superficie d'espaces extérieurs, stationnements et espaces verts. Le troisième, le Parc de Sénart, est représentatif des lotissements pavillonnaires construits entre 1975 et 2000 et constitué de maisons individuelles desservies par des voies routières formant des impasses.

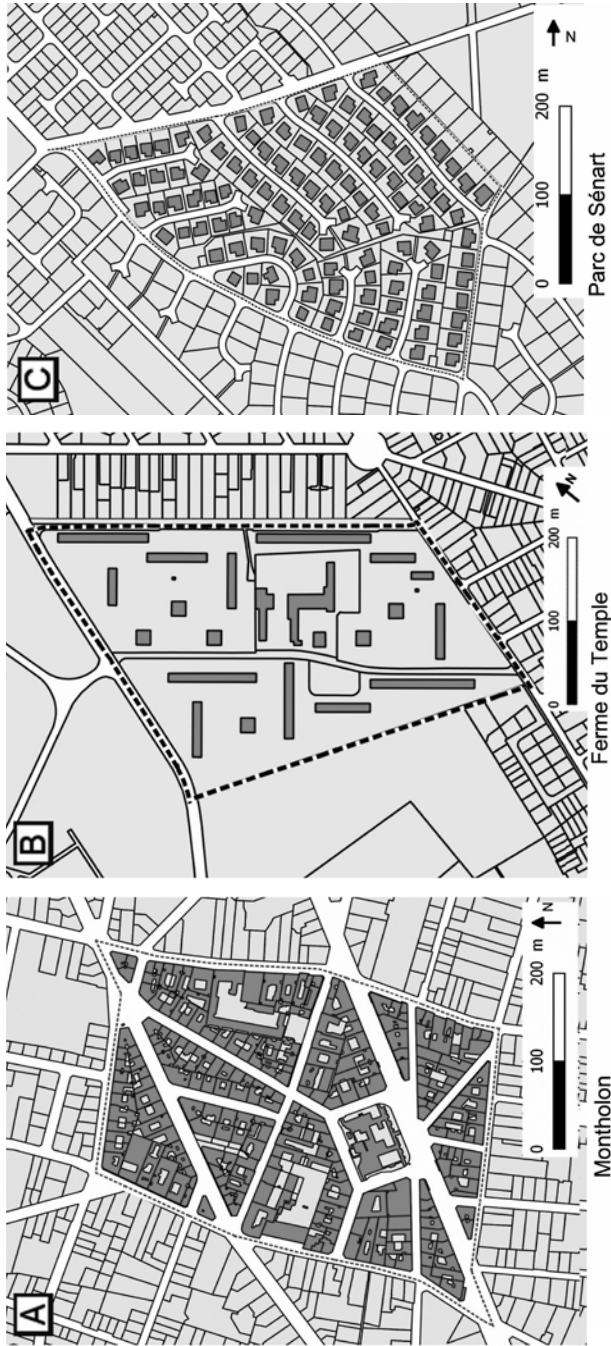


Figure 2 : Plans des trois quartiers représentatifs de formes urbaines régionales (source : BD Topo et BD Parcellaire de l'IGN ; fond de carte : IGN).

Ainsi que le montre le tableau 4, à fréquence de renouvellement identique (hypothèse théorique), la consommation moyenne annuelle par surface urbanisée (surface totale du quartier) engendrée par le renouvellement du réseau routier (chaussées, trottoirs et stationnements) est nettement plus faible dans le quartier haussmannien que dans les deux autres. Cette différence résulte des formes urbaines, la surface au sol occupée par le réseau routier étant minimale pour l'haussmannien tandis que le coefficient d'occupation du sol (rapport entre surface hors œuvre brute et surface brute du terrain) y est plus élevé. L'écart est encore plus élevé si l'on rapporte les flux à la population (habitants et emplois), du fait de la forte densité d'activité humaine à Montholon.

Quartiers représentatifs de formes urbaines régionales	Flux moyens annuels par surface urbanisée (t/ha)	Flux moyens annuels par habitant et emploi (t/hab+emp)	Part de la surface au sol occupée par le réseau routier (%)	Coefficient d'occupation du sol brut
Haussmannien : Montholon (Paris, 5 427 habitants et emplois)	84	0,2	18	2,62
Grand Ensemble : Ferme du Temple (Ris-Orangis, Essonne, 2 197 habitants)	234	1,3	46	0,89
Pavillonnaire : Parc de Sénart (Soisy-sur-Seine, Essonne, 367 habitants)	146	1,3	36	0,23

Tableau 4 : Consommation théorique annuelle dédiée au renouvellement du réseau routier par surface urbanisée et par habitant et emploi, part de la surface au sol occupée par le réseau routier et coefficient d'occupation du sol brut, Montholon, Ferme du Temple et Parc de Sénart, 2013, t/ha, t/hab+emploi, %, valeur absolue (source : flux et part de la surface au sol occupée par le réseau routier selon cette étude, coefficient d'occupation du sol brut selon Fouchier, 1997).

Les matériaux consommés pour le renouvellement des chaussées en Île-de-France proviennent pour environ un sixième des chaussées elles-mêmes (DIREE *et al.*, 2017). Cette part pourrait augmenter à court terme. En effet, un taux d'incorporation d'agrégats d'enrobés (déchets générés par le renouvellement des routes) dans la production d'enrobés bitumineux de 40 % est admis à ce jour par le Service d'études techniques des routes et autoroutes (2004). De plus, les professionnels de la construction routière, dans le cadre d'une convention d'engagement volontaire signée en mars 2009 entre le Ministère de l'environnement et l'Union des syndicats de l'industrie routière française, ont défini l'objectif de recycler l'ensemble des agrégats d'enrobés bitumineux dans la production d'enrobés bitumineux ou à défaut dans les couches d'assise et de forme des chaussées.

DES DÉCHETS GÉNÉRÉS MAJORITAIREMENT PAR LA CONSTRUCTION ET LA DÉMOLITION DE BÂTIMENTS

Les premiers flux de déchets générés en Ile-de-France en 2013 sont les matériaux excavés (terres et minéraux). La masse totale de ces flux et leur origine font l'objet d'une connaissance très lacunaire. Selon les dires d'experts sur lesquelles s'appuient nos estimations, au début des années 2010, ils résulteraient pour moitié des terrassements et travaux préparatoires pour le bâtiment, pour quatre dixièmes des terrassements et creusements de tunnels pour les réseaux routier et ferré, et pour un dixième du creusement de tranchées pour les réseaux d'énergie, d'eaux et de télécommunication (CR IdF, 2015). Cependant, la très faible extension du réseau routier régional que l'on peut observer pour l'année 2013 selon les *Comptes des Transports* indique que la part générée par ce réseau est probablement surestimée.

Malgré cette incertitude, il est intéressant d'observer que la construction de bâtiments engendre de forts flux de déchets. Ces derniers résultent de la programmation et conception des opérations : la masse extraite est d'autant plus importante que la surface construite en sous-sol est grande, tandis que le réemploi des matériaux excavés sur chantier est d'autant plus contraint que le bâtiment occupe une part importante de la parcelle. 13 % seulement de l'ensemble des flux de matériaux excavés ont été réemployés ou recyclés dans la construction en 2013, majoritairement pour des travaux routiers. Lors de la construction de bâtiments, les matériaux excavés sont le plus souvent évacués des chantiers et transportés vers des installations de stockage ou des carrières en réaménagement (CR IdF, 2015).

Les bâtiments, par leur démolition, génèrent en outre les deux-tiers des flux de déchets hors matériaux excavés. La démolition fait l'objet d'une connaissance lacunaire, la base Sit@del2 gérée par le ministère n'enregistrant que les opérations effectuées dans le cadre de permis de démolir, tandis qu'une démolition peut être autorisée via des permis de construire ou aménager. Ces données, transmises par la DRIEA (services de la Préfecture), apportent néanmoins des indications que nous avons complétées par le traitement des fichiers fonciers de 2009 et 2014 (décalage d'environ deux ans entre autorisations et travaux). Ainsi que le montre la figure 3, les trois-quarts des surfaces démolies en Île-de-France durant la période étudiée portent sur des locaux d'activité.

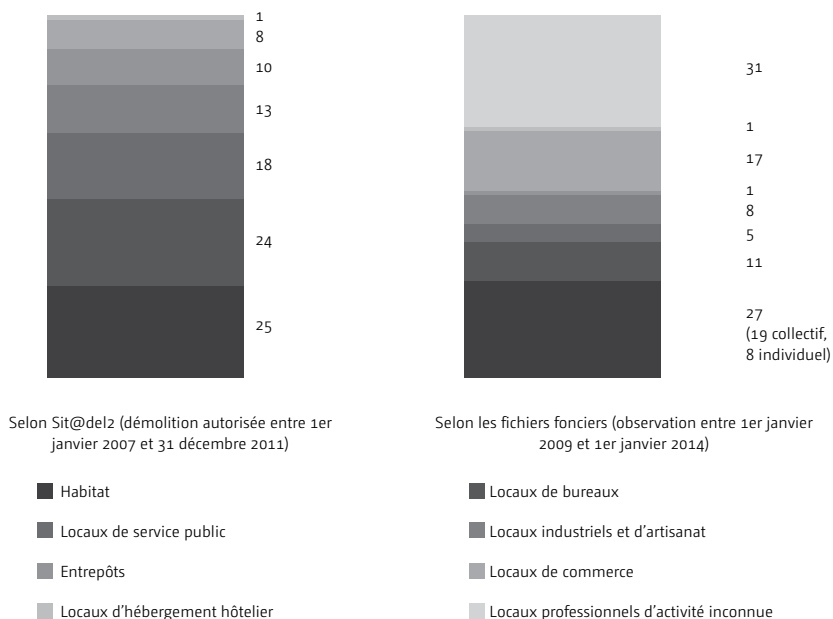


Figure 3 : Répartition des surfaces démolies par type de bâtiments, Île-de-France, 2007-2011 et 2009-2014, % (sources : données Sit@delz sur les permis de démolir, traitement des fichiers fonciers 2009 et 2014).

Plusieurs facteurs semblent expliquer la démolition de bâtiments en Ile-de-France. Lorsqu'elle porte sur des locaux industriels et d'artisanat, la démolition peut être reliée au processus de désindustrialisation observé en Ile-de-France, processus qui s'est notamment traduit par la fermeture de trois cimenteries et d'une cinquantaine de scieries depuis les années 1970 (DRIEE *et al.*, 2007 ; Agreste IdF, 2014). Outre ces fermetures, les activités restées en Ile-de-France se sont éloignées du cœur d'agglomération (Darley et Zeiger, 2014).

La démolition d'immeubles de bureaux provient, selon les travaux d'I. Chesneau, de l'action de bailleurs de surfaces d'activité qui cherchent à maintenir une offre commerciale compétitive dans un marché régional très concurrentiel. Il en résulte une obsolescence qui engendre une « progressive déconnexion [...] entre le niveau de loyer demandé et le degré de confort offert » (Chesneau, 2003, p. 344). Cette obsolescence s'exprime par la vacance des locaux évoquée par les bailleurs comme l'une des principales motivations de la démolition. La qualité de la structure du bâti, liée notamment à son âge, est secondaire puisque « le renouvellement du parc est relativement déconnecté du facteur de l'âge du bâti » (Chesneau, 2004, p. 347). Aussi cette démolition est-elle plutôt engendrée par les « perspectives constructives et de croissance des parcs » (Chesneau, 2003, p. 340). Selon l'établissement public foncier de la

région Ile-de-France, une opération de démolition - reconstruction peut être financée si une surface au moins trois fois supérieure à la surface préexistante est reconstruite (Observatoire régional du foncier, 2016).

La démolition d'habitat collectif financée par le Programme national de rénovation urbaine s'inscrit dans des jeux d'acteurs et un cadre économique particuliers. Selon T. Vilmin et J.-J. Argenson (2008, p. 3-4) « ce n'est plus la vacance qui est l'argument de la démolition mais le projet urbain, le souci de diversifier et de restructurer des quartiers trop monolithiques [...]. Du moins en apparence, car il existe un autre souci chez les élus et les bailleurs, qui reste largement de l'ordre du non dit (ou plutôt du non écrit), qui est d'opérer une recomposition du peuplement des quartiers [...] à travers la démolition ». La démolition de l'habitat individuel s'inscrit dans un processus de densification du bâti sur la parcelle. Selon A. Darley et A.-C. Davy (2014, p. 70), les opérations de démolition d'habitat individuel suivies d'une reconstruction portent sur « des secteurs où l'habitat est peu valorisé ou de mauvaise qualité, et où il devient alors plus rentable de démolir pour reconstruire [ainsi que sur] des secteurs de marché porteur où les règlements d'urbanisme permettent de dégager une constructibilité telle [qu'elle] permet de rentabiliser l'achat puis la démolition de maisons individuelles ».

Les données produites à partir des fichiers fonciers indiquent également le rôle moteur joué par les perspectives de reconstruction dans le choix de démolir. En effet, tandis que l'âge des bâtiments démolis varie fortement selon les territoires, pour les parcelles sur lesquelles une reconstruction peut être observée entre 2009 et 2014 avec les fichiers fonciers, un gain important de surface construite a été observé. La surface sur la parcelle à l'issue de l'opération de démolition - reconstruction est estimée être en moyenne six fois plus importante que la surface préalable à l'opération lorsque de l'habitat est démoli, et quatre fois supérieure lorsqu'il s'agit de locaux d'activité.

Ces données montrent qu'une part importante de la démolition observable en Île-de-France s'inscrit dans un renouvellement urbain « spontané » (Badarriotti, 2006, p. 4) : « renouvellement diffus car son action n'est pas concentrée, ou encore d'initiative privée car ce ne sont pas les pouvoirs publics qui en sont à l'origine ». En effet, les parcelles concernées sont majoritairement détenues par des propriétaires privés et seulement 15 % des surfaces démolies en Île-de-France entre 2009 et 2014 se situent dans des espaces de projets dont seulement 1 % au sein de projets de rénovation urbaine¹. De plus, la démo-

1 Croisement spatial entre la couche vectorielle des barycentres des parcelles ayant fait l'objet d'une opération de démolition avec les deux couches vectorielles de l'IAU IdF des bases « Projets d'aménagement en Ile-de-France » mise à jour en 2014 et « Périmètres des Projets de rénovation urbaine (PRU) d'Île-de-France » mise à jour en 2013.

lition ne consiste souvent pas à faire « table-rase » du bâti préexistant sur une parcelle puisque la moitié des surfaces démolies concerne des opérations pour lesquelles une partie du bâti situé sur la parcelle est conservée.

Les déchets issus de la démolition de bâtiments pourraient constituer une source de matériaux pour la reconstruction. Or moins de la moitié des déchets hors matériaux excavés a été utilisée dans la construction en 2013 en Île-de-France et ces matériaux ont été très majoritairement employés en remblais ou pour des travaux routiers. Ces matières ne représentent que 16 % de la consommation de matériaux de construction de Île-de-France en 2013 (consommation intérieure corrigée et recyclage local) (Augiseau, 2017). On observe ainsi un écart entre la consommation de matériaux, destinée majoritairement aux bâtiments, et les pratiques de valorisation des déchets, tournées principalement vers les travaux routiers.

QUELLE ACTION SUR LES PROCESSUS D'URBANISATION EN RÉPONSE AUX ENJEUX LIÉS AUX MATÉRIAUX ET DÉCHETS ?

L'analyse des flux permet de mieux cerner les enjeux en termes d'approvisionnement en matériaux de construction et de gestion des déchets et d'explorer des pistes pour une action qui répondrait à ces enjeux. Elle montre tout d'abord l'importance de limiter l'extension des réseaux, et en particulier le développement du réseau routier qui engendre une consommation de matériaux et une génération de matériaux excavés lors de l'aménagement des chaussées mais également d'importants flux de matériaux pour leur renouvellement. De plus, la moindre extension de l'espace urbanisé permet de faciliter l'accès aux ressources naturelles régionales, et notamment des minéraux pour la construction (granulats, gypse et argiles). L'urbanisation contraint fortement l'extraction de ces derniers du fait du recouvrement des gisements, ainsi que des pressions exercées par les habitants pour interdire l'ouverture ou extension de carrières au sein de leur commune de résidence (Carré et Chartier, 2002 ; DRIRE IdF *et al.*, 2005). Limiter l'extension urbaine est également bénéfique selon d'autres critères environnementaux, sociaux et économiques, ainsi que le montrent les travaux de C. Emelianoff (2007) et les études à partir desquelles ont été définis les objectifs du SDRIF (CR IdF, 2013b).

Cependant l'analyse des flux fait apparaître ce qui peut constituer une limite de la moindre extension de l'espace urbanisé, lorsque cette dernière est associée à un fort renouvellement urbain prenant la forme d'opérations de démolition-reconstruction. Ces opérations génèrent des matériaux excavés et autres déchets aujourd'hui faiblement utilisés dans la construction et gérés en dehors de l'espace strictement urbanisé, occupant pour cela une partie des espaces qui auraient pu être préservés par le moindre étalement urbain. Elles contribuent de plus à accentuer l'épuisement des ressources naturelles

pour la construction, et notamment les granulats alluvionnaires utilisés pour la production de bétons. L'aménagement devrait par conséquent viser à favoriser une densification « douce » du bâti, c'est-à-dire « l'insertion de nouveaux logements qui ne changent pas de manière significative les formes urbaines du quartier en mutation et qui ne nécessite pas de destruction du parc existant. » (PUCA, 2013, p. 7).

Outre les logements, cette action devrait porter sur les bâtiments d'activité et en particulier tertiaire. De même que « le rôle de la sauvegarde patrimoniale a été [...] d'éviter le sacrifice d'édifices anciens, en donnant des limites aux seules perspectives de rentabilité financière » (Pinon, 2011, p. 15), une politique publique exercée sur le parc privé tertiaire, permettrait de favoriser une autre issue que la démolition pour les bâtiments vacants. Si le *recyclage des bâtiments* notamment par transformation des bureaux en logements est contraint par de nombreux freins (Bailly, 1998 ; Observatoire régional de l'immobilier d'entreprise en Île-de-France, 2013), cette action est d'autant plus importante que 140 000 à 240 000 m² utiles de bureaux construits depuis 1981 pourraient chaque année devenir obsolètes d'ici 2030 en Île-de-France selon cette dernière source.

Le SDRIF pourrait-il définir et suivre d'autres objectifs pour permettre la croissance démographique régionale souhaitée ? Le schéma vise en effet à augmenter le parc de logements d'environ 1,1 million d'unités en construisant plus de 1,4 million de logements à l'horizon 2030. Une partie de la construction de logements vise ainsi à compenser le renouvellement du parc par fusion, transformation et le plus souvent démolition (16 130 logements chaque année en moyenne) (CR IdF, 2013a). La construction de logements poursuit donc des objectifs contradictoires : mettre à disposition des logements neufs et compenser la démolition de logements existants qu'elle stimule. L'analyse des surfaces démolies confirme ce rôle moteur de la densification dans la démolition de bâtiments et le facteur secondaire que joue la qualité intrinsèque du bâti. Les objectifs du schéma pourraient également viser à favoriser d'autres formes de création de logements et locaux par la réhabilitation, l'intensification de l'occupation des bâtiments existants, la division de logements ou locaux, l'extension ou surélévation de bâtiments existants.

L'atteinte de tels objectifs impliquerait d'agir sur le renouvellement urbain spontané qui appelle une autre forme d'action publique urbaine que celles du projet urbain et de l'urbanisme opérationnel. La recherche menée par J. Idt, M. Pellegrino et M. Baudry (2016, p. 160) montre que les acteurs publics ne sont pas dépourvus de moyens d'action et peuvent s'appuyer sur « la gestion quotidienne au concret du droit des sols, à travers l'instruction des permis de construire ». Les collectivités à travers les autorisations de construire, aménager et démolir disposent en effet de leviers d'actions puissants sur la généra-

tion de flux. Cette gestion quotidienne menée en concertation avec les acteurs privés pourrait contribuer à une gestion des ressources que constitue l'espace urbanisé à travers son bâti et les matériaux qui le composent. La constitution de bases de données et leur partage pourraient constituer un socle pour cette action concertée, par exemple par le biais d'un « cadastre des ressources secondaires » (Brunner, 2011, p. 340)², informations spatialisées sur le bâti et les matériaux qui le composent.

— CONCLUSION

La recherche a donné lieu au développement d'une méthode d'estimation des flux permettant de relier la construction, la démolition ou le renouvellement d'ouvrages bâtis aux flux de matériaux et déchets que ces actions génèrent. Ayant recours à des sources de données disponibles sur l'ensemble de la France et d'un niveau de détail allant jusqu'à l'échelle de la parcelle, cette méthode permet de produire des informations pour étudier un quartier, une ville ou une région. Les flux estimés ont été analysés au regard des processus d'urbanisation en croisant les données produites avec d'autres sources et études.

L'analyse des flux montre le rôle majeur de la construction de bâtiments dans la consommation de matériaux de Île-de-France en 2013. Cette caractéristique distingue la région du reste de la France métropolitaine et résulte d'une moindre extension de l'espace urbanisé et des réseaux associés à cette dernière depuis le milieu des années 2000. Cependant les réseaux développés dans le passé génèrent toujours aujourd'hui des flux importants de matériaux et déchets pour leur renouvellement. Ces flux, rapportés à la surface urbanisée ou à la population (habitants et emplois), sont plus importants dans le cas de formes urbaines de faible densité (bâti ou activité humaine) telle que l'habitat pavillonnaire.

La construction de bâtiments occasionne également des flux de matériaux excavés, matières qui constituent la majeure partie des déchets de chantiers de la région. Ces flux résultent de choix de programmation et conception des bâtiments : les surfaces construites en sous-sol et l'occupation du bâti sur la parcelle. La démolition de bâtiments génère également d'importantes masses de déchets. Les données produites à partir des fichiers fonciers, croisées avec des études menées sur la démolition en Île-de-France, indiquent que cette dernière s'inscrit en grande partie dans le cadre d'un renouvellement urbain spontané et font apparaître le rôle moteur des perspectives offertes par la reconstruction dans le choix de démolir.

2 « *cadaster of secondary resources* ». Traduction personnelle.

Les déchets générés par la démolition, de même que les matériaux excavés, font l'objet d'une très faible utilisation dans la construction de bâtiments. Cette dernière recourt à des matériaux issus de ressources naturelles et contribue à l'épuisement de certaines de ces ressources telles que les métaux non ferreux à l'échelle mondiale ou les granulats alluvionnaires à une échelle régionale. De plus, les déchets sont très souvent évacués de l'espace urbain et leur gestion contribue à l'extension de l'espace artificialisé.

Les résultats de cette étude menée à une échelle régionale devraient être complétés par une observation locale. L'étude de la localisation et des caractéristiques des bâtiments construits ou démolis à l'échelle d'une ville ou d'un quartier pourrait permettre de mieux qualifier les processus d'urbanisation en œuvre en Île-de-France et de mieux les relier à des facteurs socio-économiques et spatiaux. L'analyse à l'échelle du quartier qui a été menée sur des formes urbaines très contrastées devrait par ailleurs être poursuivie sur d'autres formes et en particulier des projets urbains récents. Ceci permettrait de mieux en compte les pratiques de gestion urbaine et de mieux estimer les flux résultant du renouvellement des ouvrages (consommation réelle et non théorique).

Néanmoins, cette étude permet de mieux cerner les enjeux liés aux matériaux et déchets en Île-de-France et d'esquisser des pistes d'action. Cette dernière devrait maintenir la limitation de l'extension de l'espace urbanisé, afin de limiter les flux liés au développement des réseaux et faciliter un accès aux ressources naturelles, tout en cherchant à contrôler les opérations de démolition - reconstruction qui occasionnent d'importants flux de déchets et un prélèvement de ressources naturelles. Cette action devrait notamment porter sur les locaux d'activité tertiaire dont les surfaces démolies chaque année pourraient croître d'ici 2030.

Le Schéma directeur régional pourrait viser d'autres formes de mise à disposition de logements et locaux d'activité que la construction, au travers de la réhabilitation, l'intensification de l'occupation des bâtiments existants, la division de logements ou locaux, l'extension ou surélévation de bâtiments existants. Afin d'agir sur le renouvellement urbain spontané, cette action implique une gestion quotidienne par les collectivités territoriales et des leviers tels que l'urbanisme réglementaire au travers des autorisations de construire, aménager, et démolir, moyens d'action très puissants sur la génération de flux de matériaux et déchets.

L'urbanisme et l'aménagement constituent des moyens d'action sur le métabolisme urbain et permettent de réduire les flux de matières, action essentielle pour la mise en œuvre de politiques visant une économie circulaire (Arnsperger et Bourg, 2016). Ces politiques peuvent être renforcées en intégrant la planification urbaine dans leurs registres d'action. En retour, l'urbanisme et

l'aménagement gagneraient à mieux considérer l'effet des plans et projets sur les flux de matières, depuis l'extraction de ressources à l'enfouissement de déchets. Selon C. Kennedy, S. Pincetl et P. Bunje (2011, p. 1971), « les études des flux pour l'aménagement de quartiers ou pour des villes entières doivent devenir des pratiques courantes, et non plus de rares exercices »³.

En considérant mieux le potentiel que représentent les ressources bâties et matérielles présentes au sein de la ville et en recherchant l'utilisation de ces ressources la mieux adaptée, l'*aménagement urbain* évoluerait vers un *aménagement des ressources urbaines*. Il se rapprocherait ainsi de son sens premier, « régler les coupes d'une forêt » (Littré, 1873) en veillant à la mise en valeur des ressources urbaines disponibles et récoltées, et contribuerait à un meilleur équilibre des relations entre la ville et son environnement.

3 « *Studies of resource flows for neighborhood developments or entire cities needs to become mainstream practice, rather than just a rare exercise* ». Traduction personnelle.

— BIBLIOGRAPHIE

- Agreste Île-de-France. (2014).** *Mémento de la statistique agricole. Edition 2014.* 32 p.
- Arnsperger, C., Bourg, D. (2016).** « Vers une économie authentiquement circulaire. Réflexions sur les fondements d'un indicateur de circularité », *Revue de l'OFCE* 145 : 91-125.
- Augiseau, V. (2017).** *La dimension matérielle de l'urbanisation. Flux et stocks de matériaux de construction en Île-de-France.* Thèse de doctorat. Université Panthéon-Sorbonne-Paris I. 554 p.
- Augiseau, V., Barles, S. (2017).** « Studying construction materials flows and stock: A review », *Resources, Conservation and Recycling* 123: 153-164.
- Augiseau, V. (2018).** *Méthode d'estimation des flux de déchets de chantiers du bâtiment et des travaux publics.* Rapport de recherche pour le Conseil régional d'Île-de-France. 43 p.
- Baccini, P., Brunner, P. H. (1991).** *Metabolism of the Anthroposphere.* Heidelberg, Springer-Verlag. 157 p.
- Badariotti, D. (2006).** *Le renouvellement urbain en France : du traitement morphologique à l'intervention sociale.* 16 p.
- Bailly, F. (1998).** « Recycler aussi les bâtiments ? », in : ADEF. *Reconstruire la ville sur la ville*, Paris. 174 p.
- Barles, S. (2014).** « L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières », *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie* 5(1). n. p.
- Barles, S. (2015).** « L'urbanisme, le génie urbain et l'environnement : une lecture par la technique », *Riurba* 5(1). n. p.
- Brunner, P. H. (2011).** « Urban Mining, A Contribution to Reindustrializing the City », *Journal of Industrial Ecology* 15(3): 339-341.
- Carre, C., Chartier, M. (2002).** « La gestion d'une ressource non renouvelable : entre gestion durable et aménagement des nuisances, le cas des granulats alluvionnaires en Île-de-France », *Annales de Géographie* 111(626) : 406-418.
- Cerc, Île-de-France. (2013).** *Production des déchets de chantiers en Ile-de-France et études connexes.* 60 p.
- CGDD. (2014).** *Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements. Guide méthodologique.* Références. 111 p.
- CGDD. (2018).** *Le recyclage des déchets produits par l'activité de BTP en 2014.* 51 p.

Chesneau, I. (2003). « La démolition des bureaux en Ile-de-France : renouvellement ou flexibilité? », *Géocarrefour* 78(4) : 337-348.

Chesneau, I. (2004). « Le renouvellement des immeubles de bureaux. Le cas de l'Île-de-France. », *Les Annales de la recherche urbaine* 97(1) : 67-74.

CR Île-de-France. (2013a). *Île-de-France 2030. Défis, projet spatial régional et objectifs*. 173 p.

CR Île-de-France. (2013b). *Île-de-France 2030. Evaluation environnementale*. 261 p.

CR Île-de-France. (2013c). *Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et de travaux publics. Avant-projet de plan. Version soumise au Conseil Régional d'Île-de-France du 26 et 27 septembre 2013*. 242 p.

CR Ile-de-France (2015). *Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics*. 256 p.

Darley, A., Davy, A.-C. (2014). « Maisons individuelles : un parc qui change davantage qu'il n'y paraît », in : IAU IDF. MOS 1982 – 2012. Volume 2. *De la carte au territoire*. 96 p.

Darley, A, Zeiger, P. (2014). « Les sites industriels, enjeu de renouvellement urbain p 59-62, Carte au territoire », in : IAU IDF. MOS 1982 – 2012. Volume 2. *De la carte au territoire*. 96 p.

DRIEE, IAU Île-de-France, Syndicat National des Industries du Plâtre, et al. (2007). *Matériaux et minéraux industriels en Ile-de-France. Panorama régional*. 51 p.

DRIEE. (2012). *L'approvisionnement en matériaux du Grand Paris. Note de problématique*. 41 p.

DRIEE, IAU Île-de-France, UNICEM. (2017). *Granulats en Île-de-France. Panorama régional*. 76 p.

DRIRE Haute-Normandie. (1999). *Schéma interrégional approvisionnement du Bassin parisien en matériaux de construction à l'horizon 2015*. 112 p.

DRIRE IDF, DREIF, IAURIF, UNICEM. (2005). *Mieux prendre en compte la ressource en matériaux dans les documents d'urbanisme*. 36 p.

Emelianoff, C. (007). « La ville durable : l'hypothèse d'un tournant urbanistique en Europe », *L'Information géographique* 3(71) : 48-65.

Erkman, S. (2004). *Vers une écologie industrielle. Comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle*. Paris, La librairie FPH. Edition Charles Léopold Mayer. 2ème édition. 251 p.

Faist Emmenegger, M., Frischknecht, R. (2003). *Métabolisme du canton de Genève. Phase 1. Rapport final pour le compte du groupe de travail interdépartemental Écosite de la République et du canton de Genève*. Uster : ESU service. 47 p.

Fouchier, V. (1997). *Les densités urbaines et le développement durable. Le cas de l'Île-de-France et des villes nouvelles.* Editions du SGVN. 212 p.

Gordon, R., Bertram, M., Graedel, T. E. (2006). « Metal stocks and sustainability », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(5): 1209-1214.

Hodson, M., Marvin, S., Robinson, B., Swilling, M. (2012). « Reshaping urban infrastructure », *Journal of Industrial Ecology* 16(6): 789-800.

IDT, J., Pellegrino, M., Baudry, S. (2016). *Les acteurs publics face aux phénomènes de densification spontanée – Rapport final de recherche PUCA.* 169 p.

IRP. (201). *The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. A Report by the International Resource Panel.* United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. 276 p.

Kennedy, C., Pincetl, S., Bunje, P. (2011). « The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design », *Environmental pollution* 159(8) : 1965-1973.

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., et al. (2009). « Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century », *Ecological Economics* 68(10) : 2696-2705.

Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., et al. (2017). « Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(8) : 1880-1885.

Littre, E. (1873). *Dictionnaire de la langue française*, Hachette et Cie, Paris.

Observatoire Régional de L'immobilier d'entreprise en Île-de-France. (2013). *La transformation et la mutation des immeubles de bureaux. Colloque du 14 février 2013.* 54 p.

Observatoire Régional du Foncier. (2016). *Construire 1 million de logements en quinze ans : quel potentiel foncier ? Rapport du groupe de travail.* 88 p.

OECD. (2018). *Global Material Resources Outlook to 2060 – Economic Drivers and Environmental Consequences. Highlights.* 23 p.

Pincetl, S., Newell, J. P. (2017). « Why data for a political-industrial ecology of cities? », *Geoforum* 85: 381-391.

Pinon, P. (2011). *Paris détruit : du vandalisme architectural aux grandes opérations d'urbanisme.* Parigramme, Paris. 317 p.

Préfet de la Région d'Île-de-France, Conseil Régional d'Île-de-France. (2012). *Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie de l'Île-de-France.* 419 p.

PUCA. (2013). *Vers des politiques publiques de densification et d'intensification douces ? Intérêts, limites et opportunités. Consultation internationale de recherche.* 26 p.

Rouvreau, L., Michel, P., Serrand, M., et al. (2012). *Projet ANR ASURET - Analyse de flux de matière du secteur de la construction à l'échelle de l'ouvrage et du territoire (tâche 4.2)* - Rapport BRGM/RP-61849-FR. 142 p.

Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes. (2004). *Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées. Guide technique.* 32 p.

Swilling, M., Robinson, B., Marvin, S., Hodson, M. (2013). *City-Level Decoupling: Urban resource flows and the governance of infrastructure transitions. A Report of the Working Group on Cities of the International Resource Panel.* 95 p.

UNEP. (2014). « Sand, rarer than one thinks », *UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS).* 15 p.

Vilmin, T., Argenson, J.-J. (2008). *La démolition et le système local d'acteurs. Synthèse.* Rapport de recherche pour le PUCA. 18 p.