

LES ÉTUDES DE MÉTABOLISME TERRITORIAL

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES



JUIN 2021

8.21.003

ISBN 978 27371 2267 5



institutparisregion.fr



Les études de métabolisme territorial

Etat des lieux et perspectives

Juin 2021

Institut Paris Region

15, rue Falguière 75740 Paris cedex 15

Tél. : + 33 (1) 77 49 77 49 - Fax : + 33 (1) 77 49 76 02

<http://www.institutparisregion.fr>

Directeur Général : Fouad Awada

Département Environnement Urbain et Rural (DEUR) : Christian Thibault

Rapport réalisé par Martial Vialleix

Cartographie – Infographie : Laetitia Pigato & Martial Vialleix

N° d'ordonnancement : 8.21.003

Crédit photo de couverture : Martial Vialleix

En cas de citation du document, merci d'en mentionner la source : Auteur (nom, prénom) / Titre de l'étude / L'Institut Paris Region/ année

Remerciements : un rapport publié par un seul auteur est tout sauf un travail solitaire. L'auteur remercie ainsi Philippe Calatayud du CGDD/SDDES, Cassandre Guntz du CEREMA Normandie-Centre, Sonia Grellier de l'AREC Nouvelle-Aquitaine, Adrian Deboutière de la Métropole du Grand Paris, Jean-Christophe Vignoud de Auvergne-Rhône-Alpes Energie Environnement, Nathalie Bellot de la DREAL Grand Est, Laura Astier de la Chaire Economie circulaire et métabolisme urbain de l'Université Gustave Eiffel et Benoit Duret de Mydiane pour leurs apports respectifs afin de compiler les éléments présentés ici. Merci à Vincent Augiseau pour nos échanges réguliers et pour ses remarques sur la première version de ce travail ainsi qu'à Jean-Baptiste Bahers pour ses conseils et à Christian Thibault pour ses commentaires. Merci également à mes collègues de L'Institut Paris Region : Léo Mariasine, Cristina Lopez et Thomas Hemmerdinger pour leur appui et contributions au-delà du cadre du présent rapport. Enfin, l'auteur renouvelle ses remerciements à Sabine Barles pour ses compléments et son soutien continu.

Sommaire

Introduction	5
Méthodologie, périmètre et limites du recensement	9
Etat des lieux des études de métabolisme territorial	13
Les années 2000 : des études balbutiantes.....	13
Les années 2010-2015 : le début d'une expansion.....	15
Les années 2015-2020 : la consolidation et la diffusion des études	18
Les études en cours	22
Focus sur l'Île-de-France, un territoire pionnier en matière de métabolisme territorial	24
Bilan de l'état des lieux	26
Conclusion(s) et perspectives.....	30
Références bibliographiques	35
Acronymes.....	37
Annexe – liste des études de métabolisme territorial en France au 1^{er} janvier 2021	39

Introduction

Le métabolisme territorial (ou urbain¹) fait l'objet d'une actualité scientifique et urbaine particulièrement importante. Parmi les dizaines de définitions données par une communauté de chercheurs en expansion, nous retiendrons ici celle de Sabine Barles (2017) selon laquelle le métabolisme territorial désigne « l'ensemble des flux d'énergie et de matières mis en jeu par le fonctionnement d'un territoire donné ». Cette approche consiste à appréhender les espaces urbains comme le résultat d'un régime socio-écologique particulier, non plus uniquement par leurs fonctions ou activités, mais par leurs flux et stocks de matières et de ressources².

Le métabolisme territorial appartient ainsi à la famille de l'écologie territoriale qui « se donne pour objectif de décrire, d'analyser, voire de transformer le métabolisme des territoires, en se fondant sur l'analyse des processus naturels et sociaux (au sens large du terme) qui sont à l'origine des flux de matières et d'énergie, qui réciproquement les transforment » (Barles, 2014). L'écologie territoriale, via le métabolisme territorial donc, vise à une meilleure compréhension du fonctionnement des territoires sous l'angle des ressources (notamment l'eau, l'énergie, les matériaux, les métaux, les produits alimentaires...), des biens manufacturés et autres produits consommés, ainsi que les déchets générés et ce, dans une logique d'étude des interactions entre sociétés humaines et biosphère.

Le métabolisme territorial est porteur d'un discours stimulant et d'une vision renouvelée des espaces urbains perceptibles comme fragilisés et dominés par des logiques environnementales (biologiques, chimiques, matérielles...), à côté d'autres composantes ou fonctions (sociales, économiques, politiques...). Il permet de mieux comprendre les échanges de matières et d'énergies qui sont à l'origine de la majeure partie des problèmes environnementaux (émissions de gaz à effet de serre, de polluants, raréfaction de ressources, etc.). Comme le soulignaient Repellin, Duret & Barles (2014) dans le guide « Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements » sur lequel nous reviendrons, « les territoires sont traversés de flux de matières qui sont aujourd'hui mal connus [...] Les approches sectorielles qui caractérisent généralement les démarches environnementales, qui séparent étude des ressources et étude des rejets, ou qui portent sur un flux spécifique (eau, énergie, etc.) sans prendre en compte les interactions entre eux, ou enfin qui isolent différents secteurs (habitat, transport, industrie, agriculture, etc.) ne permettent pas d'avoir une vision d'ensemble du métabolisme, et ne peuvent par conséquent apporter que des réponses limitées aux problèmes rencontrés [...]. Afin de mieux comprendre ces processus, il est important de caractériser la façon dont les territoires prélèvent, importent, transforment, consomment, rejettent, exportent énergie et matières ainsi que de s'intéresser aux impacts sur des territoires lointains ou les impacts indirects de ces processus : c'est ce que l'on appelle le métabolisme territorial ».

Ces dernières années, le métabolisme territorial s'est imposé comme un objet d'étude de plus en plus fréquent au sein d'un champ de recherche (l'écologie territoriale) en expansion (cf. figures 1 et 2). Un bref panorama de la littérature récente illustre ce développement et cette diffusion. Kennedy & al. (2011) ont recensé entre quinze et vingt études de métabolisme, puis ce chiffre a été revu par Kennedy & Hoornweg (2012) qui dénombrèrent plus de 75 papiers publiés depuis le travail pionnier d'Abel Wolman dans les années 1960. Plus récemment, Goldstein & al. (2017) en dénombrèrent plus de 200, tandis que Beloin-Saint-Pierre & al. (2017) en examinaient plus d'une centaine.

¹ Nous préférons utiliser le terme « territorial » qui permet d'englober des espaces non seulement urbains, mais aussi plus ruraux.

² Pour un rapide tour d'horizon des implications de cette approche à l'aménagement et l'urbanisme, voir Vialleix, M. & Mariasine, L. (2019) en bibliographie du rapport. Pour un état des lieux du métabolisme francilien, voir Hemmerding, T. (2019) et al. En bibliographie également.

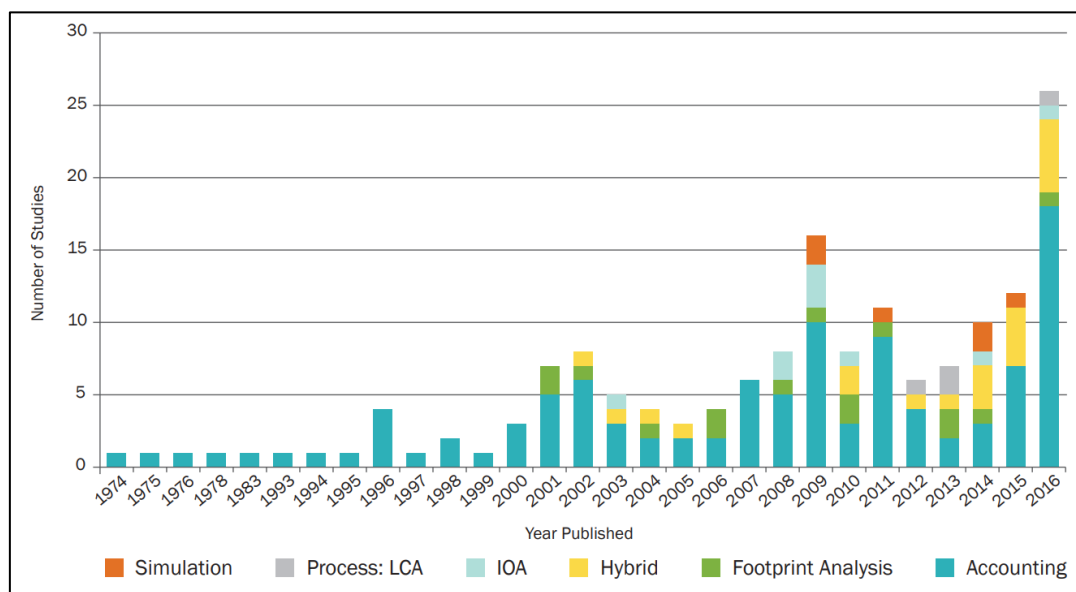


Figure 1. Evolution du nombre d'études de métabolisme territorial dans le monde selon leur méthode. Sources : Musango & al. (2017).

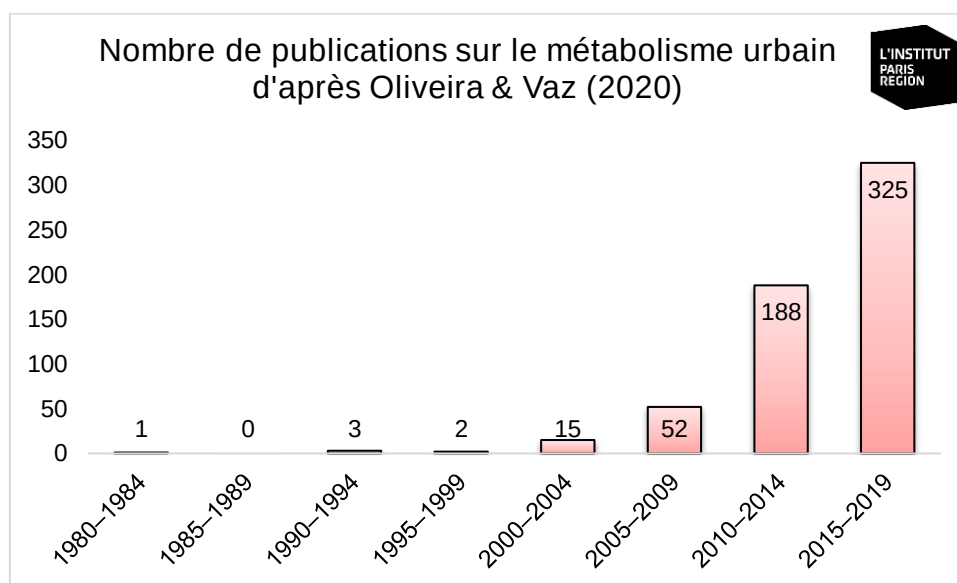


Figure 2. Nombre de publications sur le métabolisme urbain d'après Oliveira & Vaz (2021)

Au-delà du nombre de publications, c'est la tendance générale à l'accélération des travaux autour du et sur le métabolisme territorial qui est saisissante. Musango & al (2017), tout en répertoriant 165 études de métabolisme, démontrent la hausse annuelle constante des publications depuis la décennie 2010. Les travaux se répartissent en plusieurs catégories selon leur méthodologie (on distingue des méthodes comptables qui, comme nous le verrons, rassemblent une diversité d'études et sont dominantes aujourd'hui, mais aussi des méthodes basées sur l'empreinte écologique, sur l'analyse du cycle de vie, etc. - cf. figure 1). Oliveira & Vaz (2021) mettent en exergue que sur près de 600 papiers publiés sur le métabolisme urbain depuis 1980, environ 90% l'ont été entre 2010 et 2019.

Ces recherches, qui demeurent malgré tout modestes au regard d'autres sujets plus largement étudiés, se retrouvent dans un nombre restreint de revues scientifiques majoritairement anglo-saxonnes : citons le *Journal of Industrial Ecology* (fondé à la fin des années 1990), le *Journal of Cleaner Production*, la revue *Resources, Conservation and Recycling* ou encore le *Journal of environmental management*. En France, citons le numéro 2019/2-3 de la revue *Flux* intitulé « Transition ou consolidation du régime dominant : le métabolisme urbain en question » qui est venu

ajouter une série d'articles en français sur ce sujet. On retrouve le reste des travaux francophones dans des journaux comme *Développement Durable et Territoires*, *Vertigo* ou encore la *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*.

Au final, le métabolisme territorial est à la fois un objet d'étude plébiscité par des travaux croissants mais dispersés au sein du champ de l'écologie territoriale (Barles & Bahers, 2019), et tend également à devenir un outil dont les territoires et acteurs publics se saisissent de plus en plus dans l'optique de conduire des politiques publiques comme nous le verrons. En effet, au-delà des considérations scientifiques, techniques ou quantitatives, le métabolisme territorial est une métaphore puissante et parlante pour ses utilisateurs. Déjà en 2014, on pouvait constater que le métabolisme urbain était possiblement sur le point de détrôner la « durabilité » au rang des mots à la mode (à côté de termes comme « résilience » ou « transition » notamment)³. Depuis, l'économie circulaire a fait son entrée en scène. Elle désigne une stratégie d'action, un autre modèle possible, pour concevoir la gestion des ressources naturelles, en passant d'une logique linéaire actuelle, source de gaspillages et de pollutions, à une logique circulaire susceptible de réduire les consommations de matières et d'énergie, et la production de déchets à tous les stades des cycles de vie des biens ou services générés⁴. Nous constaterons que le métabolisme territorial et l'économie circulaire entretiennent une étroite relation qui tend à se consolider ces dernières années.

La diffusion et l'utilisation du métabolisme territorial, en tant que métaphore pour qualifier les territoires urbains et leurs dynamiques, est attestée par sa présence dans d'autres textes ou articles de non spécialistes des études de flux de matières et d'énergie. Lors des municipales de 2020, le philosophe Pierre Charbonnier utilise le terme « métabolisme urbain » lorsqu'il souligne qu'une « réflexion s'est en effet engagée dans certaines municipalités sur le pacte qui lie les centres-villes aux espaces fantômes qu'elles consomment et consomment. La renégociation de la complémentarité entre ville et campagne par la construction de circuits courts et de qualité, l'investissement dans des infrastructures de transport collectif sobres et égalitaires, le blocage de l'artificialisation des sols et des grands projets immobiliers, tout cela peut contribuer à faire atterrir le métabolisme urbain⁵ ». Jean-Marc Offner parle également du métabolisme urbain dans une conférence POPSU donnée en 2018⁶ : « Traditionnellement, les gouvernements locaux s'occupent du foncier, de l'occupation du sol. Et nos schémas de planification s'échinent à répartir des droits à construire dans les parcelles du cadastre, minimisant les questions de flux et de mobilité. Des institutions et des procédures en charge des sols et des stocks, il en faut. Mais il en faut d'autres pour donner toute leur place aux sujets essentiels des fonctionnements métropolitains déjà recensés : les déplacements et la logistique ; les services en réseau (eau, énergie, numérique) ; les métabolismes des ressources naturelles et les circularités économiques... ». Carlos Moreno manipule lui-aussi le terme « métabolisme urbain » (sans pour autant le définir) dans une tribune dédiée à la gouvernance urbaine⁷. Par ailleurs, l'Ecole Urbaine de Lyon a mis en place un cours dédié au métabolisme urbain au premier semestre 2021⁸. Enfin, l'ADEME emploie le terme dans son récent guide « Economie circulaire et Urbanisme » (et plus largement dans ses réflexions sur l'économie circulaire) en pointant le fait que « la gestion des flux est également indispensable dans une optique de gestion efficace des ressources. Plus particulièrement, l'approche du métabolisme territorial permet de connaître les flux, d'identifier des besoins et des potentiels ⁹ ».

Ce très bref panorama montre que la figure du métabolisme territorial (ou urbain) commence à se faire une place dans les discours des observateurs et des praticiens qui réfléchissent au devenir des territoires. Nous allons donc tenter de donner à voir cette diffusion pour le métabolisme territorial en

³ Sources : « "Urban Metabolism" Could Beat "Sustainability" in a Buzzword Contest », Sciences of Cities, en ligne sur <https://nextcity.org/daily/entry/what-is-urban-metabolism-defined-science-cities>, consulté le 2 mars 2021.

⁴ Sur l'économie circulaire, se reporter aux travaux de L'Institut Paris Region (en ligne sur <https://www.institutparisregion.fr/economie/#.filtre-economie-verte-et-circulaire>) mais aussi à l'article d'Arnsperger & Bourg (2016) en bibliographie du rapport.

⁵ Sources : « L'écologie municipale, ou la ville face à son histoire », Libération, en ligne sur https://www.liberation.fr/debats/2020/06/30/l-ecologie-municipale-ou-la-ville-face-a-son-histoire_1792880, consulté le 3 mars 2021.

⁶ Voir en ligne le texte de la conférence sur <http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/metropoles-invisibles-les-metropoles-au-defi-de-la-a1520.html>, consulté le 4 mars 2021.

⁷ Sources : « Vers des nouvelles gouvernances urbaines : comprendre le métabolisme urbain, pour anticiper les mutations », La Tribune, en ligne sur <https://www.latribune.fr/regions/smart-cities/la-tribune-de-carlos-moreno-vers-des-nouvelles-gouvernances-urbaines-comprendre-le-metabolisme-urbain-pour-anticiper-les-mutations-783117.html>, consulté le 10 mars 2021.

⁸ Voir en ligne sur <https://ecoleanthropocene.universite-lyon.fr/a-la-recherche-du-metabolisme-urbain-198048.kjsp?RH=1610632597681>, consulté le 26 février 2021.

⁹ Sources : « Guide économie circulaire et urbanisme. Une Démarche, des Outils pour construire son projet », ADEME/Orée/Inddigo, 113p, en ligne sur <https://www.ademe.fr/guide-economie-circulaire-urbanisme>, consulté le 2 mars 2021.

France, et notamment en Île-de-France. Pour cela, le présent rapport propose un recensement des études de métabolisme territorial depuis les années 2000. Il adopte un regard rétrospectif en remontant au début des années 2000 et s'appuie sur une vision territoriale avant tout : l'idée est de montrer la couverture croissante du territoire national (et francilien) par les études de métabolisme territorial et ce, à des échelles variées. Il s'agit aussi de donner à voir la diffusion de ces études, parfois encore méconnues et ce, même sur les territoires sur lesquelles elles portent. De plus, le rapport donne des premiers éléments d'analyse des méthodes, commanditaires ou encore des prestataires et du cadre de ces études. En revanche, il ne comporte pas un travail approfondi de retours d'expériences quant à la manière dont ces études ont été utilisées ou insérées dans les politiques publiques des territoires concernés. Cela pourra faire l'objet de publications ultérieures de L'Institut Paris Region, en partenariat avec les acteurs impliqués dans ces exercices.

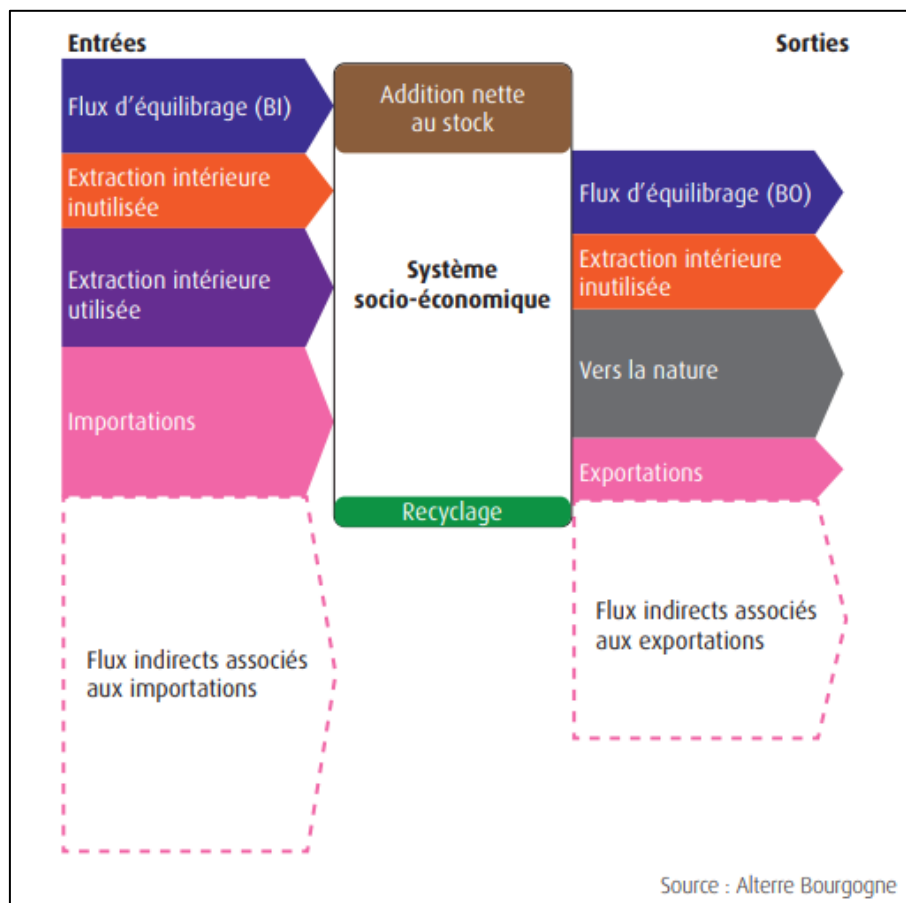


Figure 3 : Schéma conventionnel d'une analyse de flux de matières telle que proposée initialement par Eurostat. Sources : Repellin, Barles & Duret (2014).

Méthodologie, périmètre et limites du recensement

Ce travail a été entamé en 2018 dans le cadre des travaux de L'Institut Paris Region sur le métabolisme territorial et l'économie circulaire en appui à la Région Île-de-France, aux collectivités et aux services régionaux de l'Etat. Il s'est poursuivi et a été consolidé en 2019, 2020 et 2021, dans le cadre d'un projet de recherche doctorale d'une part, et de la mission de préfiguration d'un observatoire des ressources en Île-de-France d'autre part¹⁰. Il s'appuie sur :

- un recensement d'études que l'on peut (dans leur majorité) retrouver sur internet ;
- un recueil d'informations auprès d'une diversité d'acteurs, en Île-de-France, et ailleurs, notamment via des entretiens ;
- une participation à de multiples réunions de travail, et moments d'échanges avec des institutions publiques, des chercheurs, des collectivités territoriales... Citons à titre d'exemple le groupe de travail « Métabolisme à tous les étages » organisé en décembre 2019¹¹, l'atelier POPSU « Métabolisme, résilience : vers des métropoles plus sobres » de novembre 2020¹², des réunions organisées dans le cadre du Réseau des Agences Régionales de l'Energie et de l'Environnement (RARE)¹³ ou dans le cadre de la préparation du Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) approuvé en 2019, de son plan d'action en faveur de l'économie circulaire, puis de la Stratégie Régionale Economie Circulaire (SREC) de la Région Île-de-France adoptée en septembre 2020¹⁴, etc.

Il convient de rappeler ici que ce travail, bien que consolidé progressivement avec l'aide de plusieurs personnes et organismes travaillant depuis longtemps sur le sujet, ne prétend pas être exhaustif quant au recensement des études de métabolisme territorial en France. D'une part, ce que l'on entend par « étude de métabolisme territorial » peut être interprété d'une diversité de manières : ce rapport en propose une lecture à la fois large (afin de démontrer la diversité des méthodes d'analyse des métabolismes territoriaux), et restrictive (afin de circonscrire un minimum son champ). Comme évoqué précédemment, le travail a été en partie réalisé dans le cadre d'une thèse intitulée « L'urbanisme à l'épreuve du métabolisme territorial » à l'Université Paris I (laboratoire Géographie-cités, UMR 8504) démarrée en 2019 sous la direction de Sabine Barles. La volonté de cette thèse d'étudier comment les études de métabolisme territorial peuvent façonner ou questionner la production des outils variés de l'urbanisme (planifications, chartes, référentiels...) a donc influencé le périmètre de ce recensement. Enfin, le sujet est particulièrement changeant : il est à la fois d'actualité, et limité à un panel d'acteurs restreint mais croissant, ce qui laisse la possibilité que d'autres études de métabolisme (notamment lancées en 2020 ou 2021) puissent être absentes de l'analyse.

Sont considérées ici comme études de métabolisme territorial, les travaux répondant aux critères suivants :

1. Utilisation d'une méthodologie explicitement fondée sur l'approche par le métabolisme territorial ou urbain, avec la volonté affichée de mesurer le poids matériel du territoire en question, de connecter l'amont et l'aval du ou des cycle(s) étudié(s). L'ancrage de l'étude en question dans le champ de l'écologie territoriale est donc recherché ;

¹⁰ Travail qui a fait l'objet d'une publication récente : Mariasine, L. & Hemmerdinger, T. (2021). « Observation des ressources en Île-de-France. Mission de préfiguration 2019-2021. Tome 1 Proposition d'une méthodologie. Institut Paris Region, avec le soutien de l'ADEME. 66p. En ligne sur <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/observation-des-ressources-en-ile-de-france-mission-de-prefiguration-2019-2021/>, consulté le 15 avril 2021.

¹¹ Voir en ligne sur <https://www.arec-idf.fr/metabolisme-a-tous-les-etages.html>, consulté le 4 mars 2021.

¹² Voir en ligne sur <http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/17-11-atelier-popsu-metabolisme-resilience-vers-a2127.html>, consulté le 4 mars 2021.

¹³ On pense par exemple au webinaire « Ressources et flux de matières dans les territoires : les connaître pour mieux agir » organisé en avril 2021 coordonné par l'Agence Régionale d'Evaluation environnement et Climat (AREC) Nouvelle-Aquitaine. Voir en ligne sur <https://rare.fr/evenement-ressources-et-flux-de-matieres-dans-les-territoires-les-connaître-pour-mieux-agir/>, consulté le 11 mars 2021.

¹⁴ Voir en ligne sur <https://www.iledefrance.fr/strategie-regionale-en-faveur-de-leconomie-circulaire-srec>, consulté le 26 février 2021.

2. Production d'une étude « englobante » du métabolisme territorial c'est-à-dire qui porte sur plusieurs flux et/ou stocks de celui-ci (eau, énergie, matériaux, biomasse, déchets...) et qui cherche à mettre en exergue les interrelations entre eux ;
3. Réalisation d'une étude « sélective » du métabolisme territorial c'est-à-dire dont le commanditaire ou le prestataire a explicitement fait le choix de se concentrer sur un seul flux et/ou stock du métabolisme. Dans ce cas, l'ancrage de l'étude de métabolisme territorial dans une volonté de connecter les enjeux matériels avec l'aménagement et l'urbanisme (et plus particulièrement sur la question des matériaux de construction ou de l'énergie) sera ici retenue. Le choix de ce critère s'explique par la volonté de recenser les études proches des champs d'action de L'Institut Paris Region et du travail de thèse évoqué précédemment. Rappelons que les minéraux et produits non métalliques (dans lesquels on retrouve notamment les différents granulats qui entrent dans la composition du béton) et les minerais métalliques (aciers...) comptent pour 45% environ de la consommation intérieure de matières en Île-de-France en 2015 (48% en France) et que les énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz...) comptent pour 23% de cette consommation (18% en France). Les matériaux de construction et les énergies fossiles constituent en ce sens une cible importante pour le déploiement d'une gestion plus sobre des flux de matières et une transition vers des métabolismes circulaires.

Ces critères sélectionnés pour recenser les études de métabolisme territorial sont cependant discutables. C'est plus particulièrement le cas du troisième qui conduit à exclure certaines études ou publications du périmètre du recensement. En effet, plusieurs travaux, ancrés dans l'approche par le métabolisme territorial, s'inscrivant parfois en intégralité ou parfois partiellement dans le champ de l'écologie territoriale, se sont intéressés aux composantes et processus du métabolisme agricole qui n'a pas été pris en compte ici. Ils relèvent d'une démarche d'amélioration des connaissances des relations biogéochimiques qui sont à l'œuvre à l'échelle territoriale. Le métabolisme des territoires n'y est pas tant étudié en aval au niveau des sorties ou des rejets de matières ou d'énergie dans l'environnement, mais plutôt en amont au niveau des processus d'approvisionnement sur des échelles variées et souvent éloignées du territoire cible. Certains sont réalisés à l'échelle nationale ce qui ne correspondait pas à la volonté de ce recensement de donner à voir la couverture croissante des territoires de France par les études de métabolisme territorial. Surtout, ils sont moins facilement assimilables au champ de l'aménagement et de l'urbanisme qui est au centre de nos réflexions et de celles de L'Institut Paris Region plus globalement. Ils relèvent plutôt d'approches filières (en recourant notamment à des analyses de flux de substances bien précises) et moins d'une approche territoriale. C'est cette dernière qui retient notre attention dans ce recensement.

Parmi les travaux qui n'ont donc pas été comptabilisés dans notre recensement, citons les thèses de Chatzimpiros (2011)¹⁵, Bognon (2014)¹⁶ ou Harchaoui (2019)¹⁷, l'article de Bonaudo & al (2016)¹⁸ ou encore le travail entrepris dans le cadre du projet « EIT APPVPA¹⁹ » finalisé en 2010. Ces études ont analysé l'approvisionnement alimentaire de divers territoires (dont l'agglomération parisienne) sous l'angle des trajectoires socio-écologiques sur le temps long, en étudiant leurs enjeux environnementaux et mécanismes de gouvernance associés. Ils contribuent également à une meilleure connaissance des flux d'azote et de phosphore qui sont fondamentaux mais peu étudiés dans leur dimension urbaine²⁰ ou encore de « dégager un tableau d'ensemble de la circulation de la matière organique afin d'identifier les carences éventuelles du système²¹ ». D'une manière générale, au sein de ces recherches académiques, l'approvisionnement alimentaire urbain est envisagé « comme un sous-système du métabolisme territorial » (Bognon, 2014, p. 6) et le cadre analytique du métabolisme social « sert de base pour expliciter la trajectoire suivie par un système d'approvisionnement alimentaire » (Bognon, 2014, p. 68). Ces travaux tentent de répondre à la question de savoir « quelle est l'influence agroenvironnementale qu'exerce la ville sur les lieux spécifiques qui l'approvisionnent et de quelle façon peut-on à la fois mesurer cette influence et l'affecter

¹⁵ La thèse est disponible en ligne sur <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00834837/document>, consulté le 20 avril 2021.

¹⁶ La thèse est disponible en ligne sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01175746>, consulté le 20 avril 2021.

¹⁷ La thèse est disponible en ligne sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02940384/document>, consulté le 20 avril 2021.

¹⁸ L'article est disponible en ligne sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01548667>, consulté le 20 avril 2021.

¹⁹ Les travaux de l'Association patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets (APPVPA) sont disponibles en ligne sur <https://www.plainedeversailles.fr/les-etudes-de-lappvpa>, consulté le 10 juin 2021.

²⁰ Pour un tour d'horizon des enjeux relatifs aux flux d'azote et de phosphore en région francilienne, se reporter à Puvost-Bouvattier & al. (2020) en bibliographie du rapport.

²¹ Sources : « Note de présentation des flux de cellulose ». Métabolisme APPVPA. Version complète. Systèmes Durables. Décembre 2010. 25p.

à la consommation urbaine ? » (Chatzimpiros, 2011, p. 15). En ce sens, ils contribuent à faire avancer les réflexions sur la pertinence et les limites du métabolisme territorial comme outil « pour analyser les systèmes d'élevage au sein des territoires » (Bonaudo & al., 2016, p. 218).

D'autre part, il s'agit également des travaux d'Esculier (2018)²². Inscrits dans le domaine de l'écologie urbaine, ils s'intéressent à la quantification des « flux mis en jeu dans les systèmes alimentation/excrétion » (Esculier, 2018, p. 114) des espaces urbains et soulignent que « analyser le métabolisme urbain sous l'angle des systèmes socioécologiques, en y distinguant un sous-système alimentation/excrétion et en le caractérisant par la quantification des flux d'azote, nous a alors permis alors de porter un nouveau regard sur la gestion des urines et matières fécales en ville » (Esculier, 2018, p. 485).

Il convient enfin de citer d'autres travaux de recherche qui ont fait avancer les réflexions sur le métabolisme territorial à un niveau plus fondamental ou méthodologique, sans nécessairement avoir pour vocation de mieux comprendre le fonctionnement d'un territoire donné. Il s'agit notamment de la thèse de Ribon (2020) « Le paradigme du métabolisme territorial : Une approche par le traitement des données » qui, en s'intéressant entre autres aux moyens et obstacles pour collecter, traiter, analyser et restituer des données, a permis de « conceptualiser un Système d'Information pour l'Analyse du Métabolisme des Territoires (SINAMET) ». Son objectif « est de permettre un traitement plus simple et plus automatisé » (p. 230) de ce qui constitue véritablement la colonne vertébrale des études de métabolisme. Le travail de Loiseau (2014) « Elaboration d'une démarche d'évaluation environnementale d'un territoire basée sur le cadre méthodologique de l'Analyse du Cycle de vie (ACV). Application au territoire du bassin de Thau »²³ permet d'inclure l'analyse de flux de matières dans la famille des outils et méthodes « mobilisés dans la littérature scientifique afin de réaliser l'évaluation environnementale d'un territoire » (p. 16) et considère que « Ces différentes méthodes et outils d'évaluation environnementale s'intéressent aux interactions entre la société et la nature, en caractérisant plus ou moins finement le « métabolisme » du territoire » (p. 15). Certaines recherches ont, avec une dimension historique, contribué à comprendre des mécanismes qui transforment le métabolisme sur le temps long. La thèse de Fernandez (2014)²⁴ rentre dans cette logique en explorant l'histoire du sol et du sous-sol parisien et en les envisageant comme « une strate de l'Anthropocène » dont l'étude améliore la connaissance d'un métabolisme territorial donné. Enfin, citons les études appliquées au périmètre de certains projets d'aménagement (comme la ZAC des Ardoines ou la ZAC Saulnier en Île-de-France) qui ne portent pas une vision territoire à proprement parler mais qui ont pour objectif de mieux comprendre les flux et/ou stocks de matériaux liés à la programmation d'un chantier donné. Ces travaux, pas toujours publiés et accessibles en ligne, ne sont aussi pas retenus dans le champ du présent recensement.

Au final, les études ont été recensées dans une base de données sous la forme d'un tableau Excel (disponible en annexe du rapport) qui contient notamment les informations suivantes :

- **Echelle** : échelle géographique (ou territoire) sur laquelle l'étude de métabolisme territorial porte ;
- **Nom** : nom du territoire concerné par l'étude ;
- **Date de livraison** : date à laquelle l'étude a été publiée ;
- **Méthode** : méthode utilisée pour l'étude en question ;
- **Date de référence** : date pour laquelle l'étude en question a été réalisée ;
- **Démarche** : nature de l'étude de métabolisme territorial qui peut s'inscrire dans une démarche de recherche académique, d'une démarche d'étude formulée dans le cadre d'une commande publique, ou d'une démarche de recherche-action. Ce dernier type de démarche est plus compliqué à mettre en évidence. Nous envisagerons une démarche de recherche-action lorsque le commanditaire de l'étude n'appartient pas au monde de la recherche mais met en place un partenariat avec un ou plusieurs prestataires qui relèvent d'université(s) ou de laboratoire(s) de recherche ;
- **Commanditaire(s)** : personne ou entité qui a commandité l'étude de métabolisme territorial, c'est-à-dire qui en assure la majorité du financement (maître d'ouvrage) ;
- **Prestataire(s) / auteur(s)** : personne ou entité qui a réalisé l'étude de métabolisme territorial, c'est-à-dire qui en a assuré l'expertise technique et méthodologique (maître d'œuvre).

²² La thèse est disponible en ligne sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01787854>, consulté le 20 avril 2021.

²³ La thèse est disponible en ligne sur <https://hal.inrae.fr/tel-02599936>, consulté le 10 juin 2021.

²⁴ Un résumé de la thèse est disponible en ligne sur http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/fernandez_mathieu_resume.pdf, consulté le 10 juin 2021.



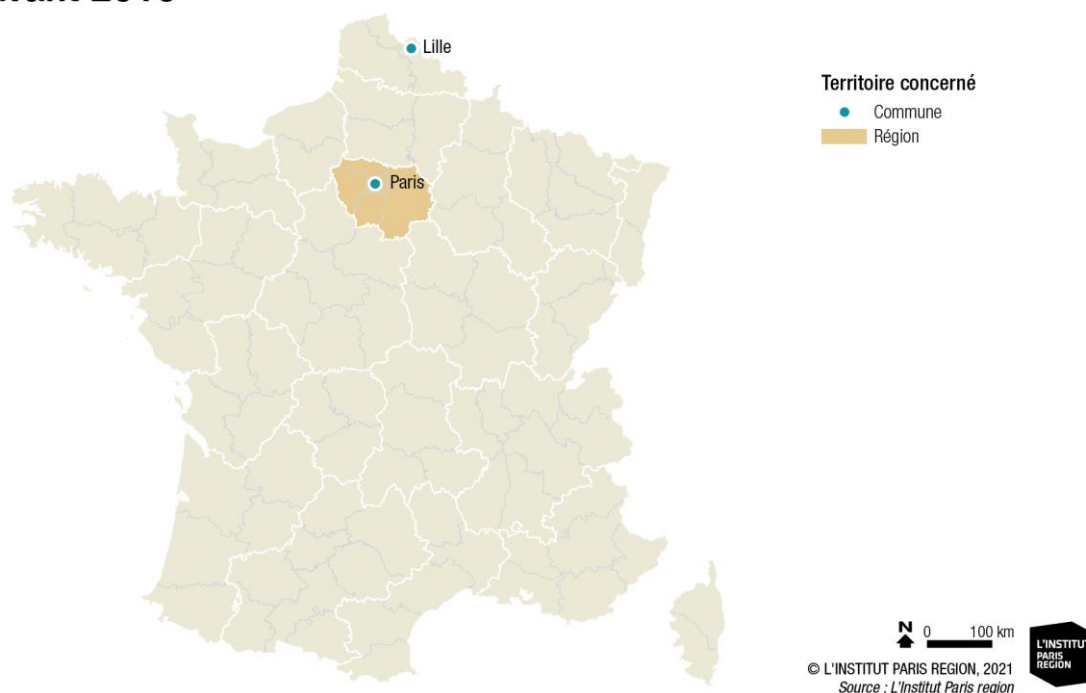
Granulats concassés en attente d'être recyclés à Châtenay-Malabry. Source : Martial Vialleix
Institut Paris Region

Etat des lieux des études de métabolisme territorial

Les années 2000 : des études balbutiantes

A la fin des années 2010, les territoires couverts par des études de métabolisme territorial restent anecdotiques en France.

Les territoires dotés d'étude de métabolisme avant 2010



Carte n°1 : Territoires couverts par des études de métabolisme territorial en France en 2010

Les premières analyses de métabolisme territorial concernent la région parisienne et remontent à la fin des années 2010, dans le sillage des travaux de Sabine Barles. Un rapport de recherche (conduit par l'Université Paris 8 – Laboratoire Théorie des Mutations Urbains) publié en 2007 comporte l'analyse du métabolisme de l'Île-de-France et de ses départements²⁵. Cela fait suite à la publication d'une série de travaux produits dans les années 1990 et 2000 par Eurostat²⁶ (Steurer & Schutz, 2000), à l'ouvrage de Baccini & Brunner (1991) « *Metabolism of the Anthroposphere* », ou encore aux études conduites pour analyser le métabolisme de Vienne²⁷ (Obernosterer & al., 1998). Le rapport de recherche de Sabine Barles a servi de base à la Ville de Paris pour consolider son engagement encore aujourd'hui actif sur ces sujets.

Par ailleurs, une analyse de flux de matières et d'énergie (AFME) a été finalisée en 2007 à l'échelle de la ville de Lille²⁸ qui a commandité l'étude. Un article de Duret & al. (2007) en donne quelques

²⁵ Cette note reprend les principaux résultats du rapport de recherche. Voir en ligne sur http://piren16.metis.upmc.fr/?q=webfm_send/38, consulté le 10 mars 2021.

²⁶ Document disponible en ligne sur <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/3-Economy-wide-material-flow-accounts...-A-methodological-guide-2000-edition.pdf/9dfe42d-0831-4522-9fe5-571785f8fecf>, consulté le 25 février 2021.

²⁷ Document disponible en ligne sur https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_143905.pdf, consulté le 9 mars 2021.

²⁸ Plus précisément, le périmètre de l'étude inclut les communes de Lomme et Hellemmes limitrophes de Lille.

indicateurs et résultats²⁹. Copilotée par la collectivité, ainsi que le bureau d'études Auxilia et Gaz de France, elle se base sur la méthodologie d'Eurostat comme les exercices menés en Île-de-France à cette période. Elle inclut le flux d'eau, mais aussi les produits textiles ou encore le papier/carton (ce qui n'est pas commun aujourd'hui dans les exercices utilisant cette méthodologie) et avait notamment pour objectif d'être en cohérence avec les actions menées dans le cadre de l'Agenda 21 local. Elle s'intéresse aux flux entrants (extractions locales et importations notamment) et sortants (exportations et rejets vers la nature notamment) en s'alignant donc sur la grille fournie par la méthodologie dite « descendante » d'Eurostat (cf. figure 3).

L'ensemble de ces travaux ont eu un réel impact sur la consolidation de la méthodologie de l'analyse de flux de matières promue par Eurostat. D'une manière générale, elle consiste en effet à récolter, compiler, agréger et parfois extrapoler des données issues de diverses bases disponibles dans une diversité d'organismes et de sources aux niveaux national et régional principalement.

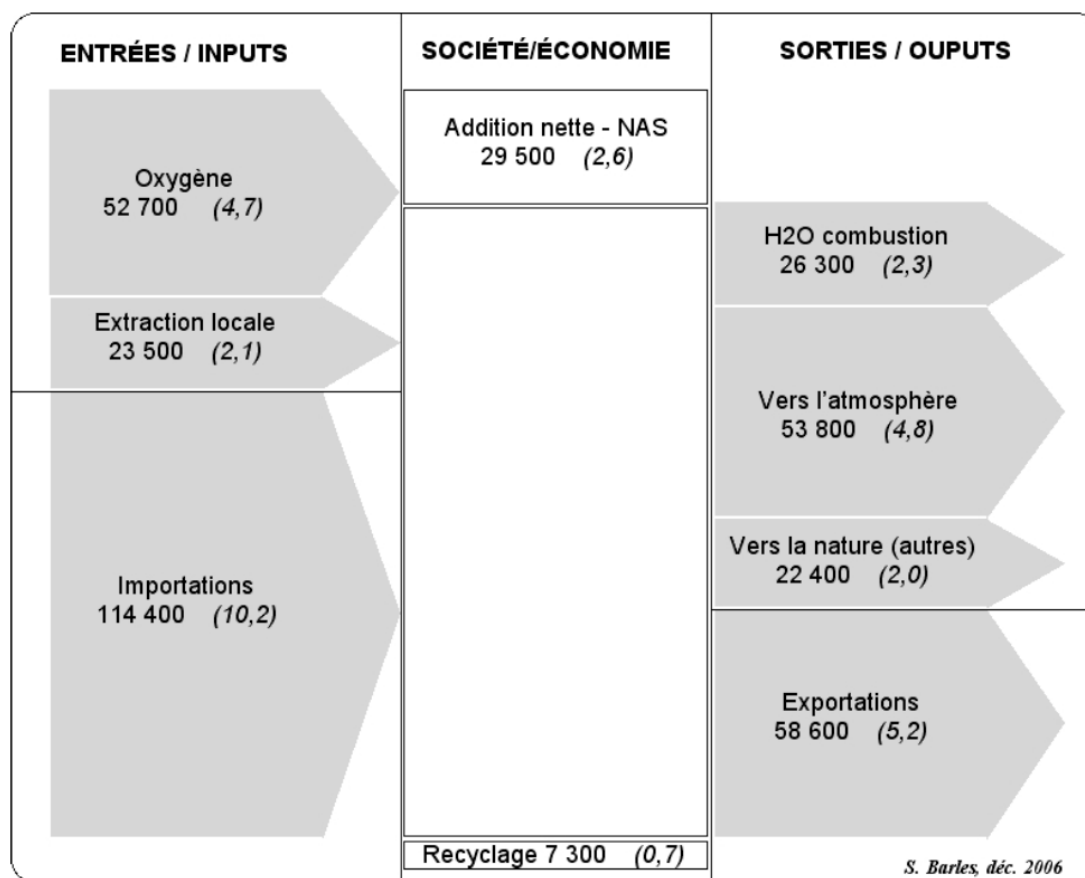


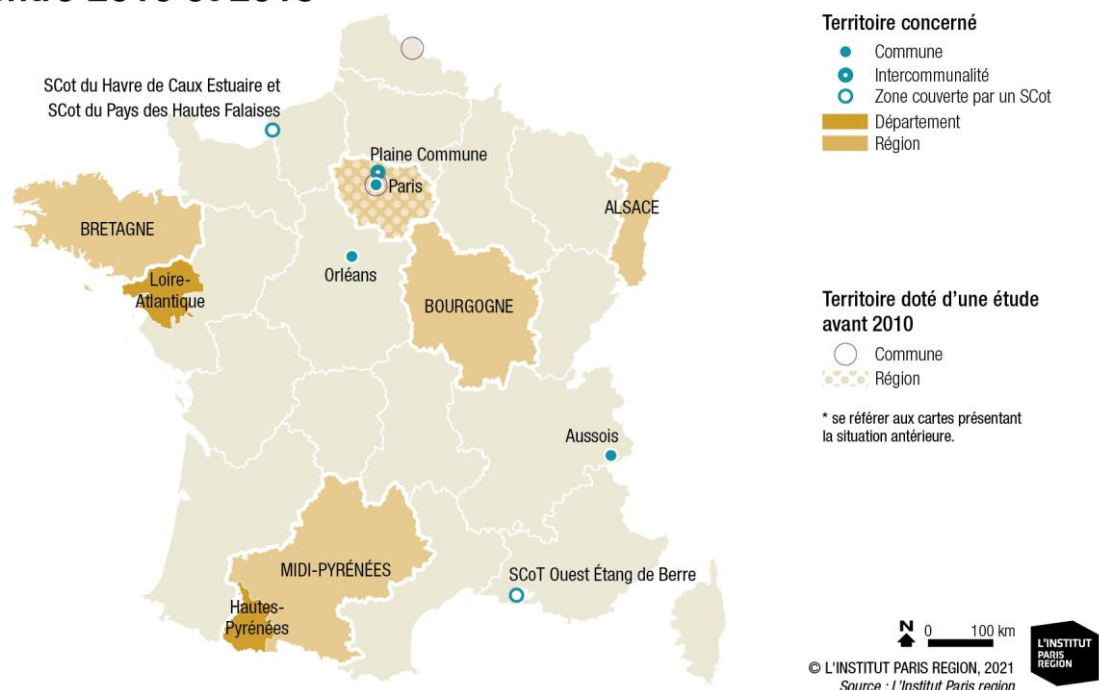
Figure 4. Bilan de matières brutes de la région Île-de-France en 2003 (en kilotonnes, et, entre parenthèses, en t/hab). Sources : Barles, 2007

²⁹ L'article de Duret & al. (2007) figure en bibliographie de ce rapport et est disponible en ligne sur https://www.persee.fr/doc/AsPDF/aru_0180-930x_2007_num_103_1_2715.pdf, consulté le 22 avril 2021.

Les années 2010-2015 : le début d'une expansion

Les études de métabolisme territorial se développent plus activement au début des années 2010. La production de travaux académiques (notamment sous l'impulsion de Sabine Barles ou de ses doctorants) ou bien menés par des universités ou laboratoires de recherche se poursuit non seulement pour publier des études, mais aussi pour proposer des analyses croisées des premiers exercices d'analyse de différents métabolismes territoriaux.

Les territoires dotés d'étude de métabolisme entre 2010 et 2015



Carte n°2 : Etudes de métabolisme territorial en France métropolitaine en 2015

Ainsi, les bilans de matières et d'énergie des départements Loire-Atlantique et Hautes-Pyrénées sont produits en 2014 dans le cadre d'une commande de la DGALN pour le compte du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Celui de la région Midi-Pyrénées (avec un bilan dédié pour les départements de l'Ariège et de la Haute-Garonne) est également finalisé à cette période dans le cadre du projet de recherche ANR « Confluent »³⁰ (Barles, 2014). De plus, l'analyse de flux de matières de l'Île-de-France et de ses départements est actualisée par la thèse de Laurent Georgeault (2015)³¹ qui consolide les connaissances sur ce territoire pionnier des études de métabolisme territorial. L'étude pour la région bretonne publiée en 2015 a été commanditée par la Région et réalisée par des étudiants de l'Ecole des Métiers de l'Environnement sous la supervision de Jean Baptiste Bahers. Pour ces études, la méthode d'analyse de flux d'Eurostat a été utilisée. La thèse de Kim (2013)³², qui affiche un ancrage fort dans le métabolisme territorial comme outil et comme cadre d'analyse, propose un bilan énergétique et une analyse de flux de matières selon cette méthode utilisée par Eurostat mais en l'adaptant. Elle porte sur l'évolution de l'approvisionnement énergétique de Paris entre le XIXe et le début du XXIe siècle.

Des études de métabolisme territorial sont aussi produites dans les régions Bourgogne et Alsace dans un cadre différent : celui des marchés publics. En Bourgogne, le travail a été piloté par l'association Alterre Bourgogne – et le bureau d'études Mydiane avec appui du CGDD et de l'Université Paris I (Laboratoire Géographie-cités)³³. Il s'accompagne de bilans de matières et d'énergie eux-aussi

³⁰ Voir en ligne sur <https://journals.openedition.org/developpementdurable/10090>, consulté le 10 mars 2021.

³¹ La thèse est disponible en ligne sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02493972/>, consulté le 20 avril 2021.

³² La thèse est disponible en ligne sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00999911>, consulté le 20 avril 2021.

³³ Une synthèse de l'étude est disponible en ligne sur <https://www.alterrebourgognefranche-comte.org/f/mediatheque/2100/le-metabolisme-territorial-/?>, consulté le 19 avril 2021.

réalisés avec la méthode Eurostat à l'échelle des départements dont les données et résultats sont présentés dans le guide piloté de Repellin, Duret & Barles (2014) « Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements³⁴ ». En Alsace, c'est une commande conjointe de l'ADEME et de la Région qui a été réalisée par un groupement de bureaux d'études³⁵ (IDEE Alsace et SOFIES, méthodologie aussi basée sur celle d'Eurostat). Pour ces deux régions, ce sont des groupements de bureau d'études avec le monde académique ou en lien avec d'autres associations locales, qui sont les prestataires de ces études.

Citons également le projet ANR « ASURET » soutenu par une diversité d'institutions comme la Ville d'Orléans et le Conseil Département des Bouches-du-Rhône, et piloté par le BRGM, avec un consortium comprenant le CSTB, INSAVALOR, 13 Développement, etc. Ce projet ANR a produit, entre autres une analyse du stock bâti et des flux de matériaux du BTP associés sur le territoire de la ville d'Orléans. L'un des rapports du projet publié en 2012 comporte aussi une étude sur des chantiers dans les Bouches du Rhône³⁶. Le projet était subdivisé en plusieurs tâches qui ont contribué à renforcer la connaissance et les méthodes de suivi de l'observation des déchets et ressources mobilisées par le BTP (avec notamment la création d'un observatoire des déchets dans les Bouches-du-Rhône). Il a notamment eu un impact important sur le développement de méthodologies d'analyse de ces flux du métabolisme plus « ascendantes ». Par opposition aux méthodes dites « descendantes » comme celle de l'analyse de flux de matières et d'énergie d'Eurostat, les approches « ascendantes » partent au plus proche du terrain et « étudient le système depuis l'intérieur en étudiant les flux de chaque processus dans ce système » (Augiseau & Kim, 2021).

L'ouvrage « Essai d'écologie territoriale » coordonné par Nicolas Buclet (2015) a quant à lui permis de doter le territoire d'Aussois d'études de métabolisme. Le livre constitue d'une certaine façon une monographie dédiée à la connaissance et aux enjeux du métabolisme d'un territoire localisé en Savoie, avec un angle historique et rétrospectif. Issu d'un travail de plusieurs chercheurs en immersion sur le terrain dans la continuité du projet ANR « Confluent », il comporte notamment un bilan énergétique du territoire et une étude du système agro-alimentaire d'Aussois. « L'enjeu de notre collectif de travail est donc à la fois de disposer des enseignements classiques des méthodes d'analyse du métabolisme d'un système, en l'espèce d'un système territorial, et d'élaborer une manière d'utiliser et de faire évoluer le concept de métabolisme de façon à relier les mesures quantitatives de ce qui circule d'un point de vue matériel et les dynamiques territoriales issues des interactions entre acteurs » (Buclet (dir), 2015, p. 33).

Par ailleurs, la Communauté d'Agglomération Plaine Commune (devenue Etablissement Public Territorial - EPT en 2016 dans le cadre de la création de la Métropole du Grand Paris) constitue la première intercommunalité francilienne à s'être dotée d'une analyse de flux de matières. Cela marque aussi l'engagement du niveau intercommunal dans de telles études (nonobstant le cas de Paris qui présentait l'avantage, sur le plan statistique, d'être à la fois ville et département). Le territoire a lui-même eu recours à la méthode descendante d'Eurostat dans le cadre d'une commande publique (étude)³⁷.

Toujours aux échelons locaux, le projet DEPART dont le rapport a été publié en 2012 a lui-même proposé une analyse à l'échelle des périmètres de SCoT de l'Ouest Etang de Berre dans la région de Fos-sur-Mer, et de ceux du Havre Pointe de Caux Estuaire et du Pays des Hautes Falaises dans la région du Havre. Soutenu par l'ADEME dans le cadre d'une démarche de recherche-action, ces travaux ont été conduits par l'agence Auxilia, Mydiane, Vianova Systems France et les universités de Toulouse II ainsi que l'Ecole des Mines d'Alès.

En résumé, la diffusion des études de métabolisme territorial et la couverture du territoire national s'accroissent sur cette période 2010-2015. Au-delà des travaux académiques, et de l'effort entrepris pour que leurs acteurs s'insèrent dans la sphère des politiques publiques, on constate également l'émergence d'une commande politique formulée par divers territoires et institutions qui y sont rattachées. Deux éléments de contexte majeurs peuvent expliquer cet accroissement :

³⁴ Le guide est disponible en ligne sur <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/EIT%20-%20comptabilite%20des%20flux%20de%20matieres.pdf>, consulté le 11 mars 2021.

³⁵ Une note de synthèse de l'étude est disponible en ligne sur <https://www.eclaira.org/articles/h/alsace--etude-des-flux-de-matieres-deau-et-denergie.html>, consulté le 5 mars 2021.

³⁶ Le rapport est disponible en ligne sur <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61849-FR.pdf>, consulté le 14 avril 2021.

³⁷ Une note de synthèse de l'étude est disponible en ligne sur carbone4.com/wp-content/uploads/2016/09/article-elisabeth.pdf, consulté le 7 mars 2021.

- Les travaux préparatoires puis la tenue de la conférence environnementale organisée par le gouvernement de septembre 2013 dont la feuille de route³⁸ appelle notamment à « accroître la connaissance des flux de déchets et de matières, ainsi que des coûts et financements associés à leur gestion ». Ce document charge aussi les régions de s'inscrire « progressivement dans l'élaboration de stratégies régionales d'économie circulaire, intégrées à terme dans les schémas régionaux de développement économique. Elles se doteront de plateformes de connaissances des flux de matières au niveau territorial et de connexion entre les acteurs ». On retrouve ici les fondements d'une logique où les régions (dont les contours et compétences ont été modifiés en 2015 avec la loi NOTRe) sont identifiées comme les territoires pilotes pour les questions de développement économique auxquelles les réflexions et démarches d'économie circulaire sont souvent adossées (Carrière, 2018) ;
- La publication par le Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) (en partenariat avec Alterre Bourgogne, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et l'Université Panthéon-Sorbonne Paris I) d'un guide méthodologique³⁹ qui constitue encore aujourd'hui une référence pour la conduite d'analyse de flux de matières. Ce guide s'appuie sur la méthodologie descendante d'Eurostat dans le prolongement des travaux des années 2000 et comporte notamment des comparaisons entre différentes analyses de flux de matières existantes, des informations de base sur la manière de réaliser ces études, d'interpréter les indicateurs, etc.

Les résultats de l'analyse des flux de matières de la Bourgogne en 2010

en milliers de tonnes (en tonnes par habitant)

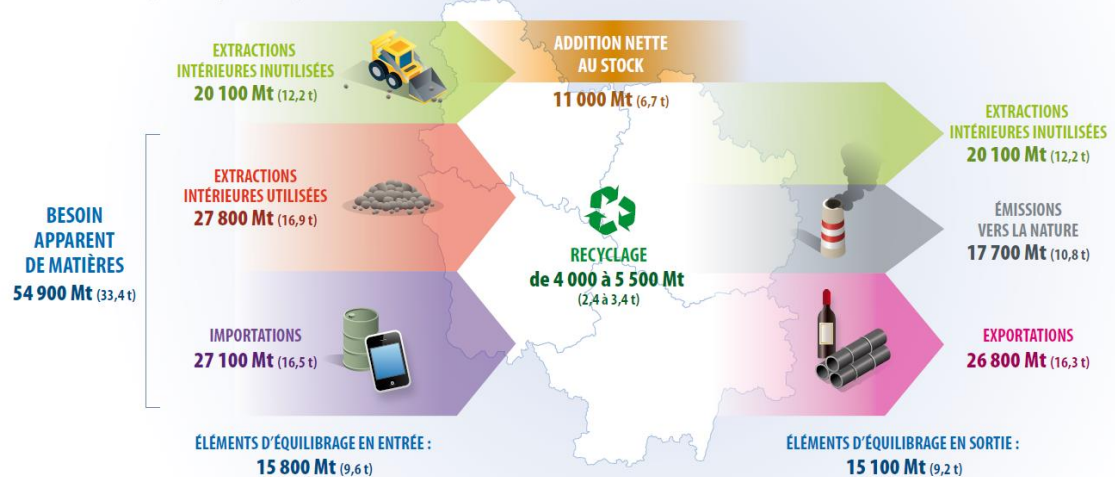


Figure 5. Bilan de matières brutes de la région Bourgogne en 2010. Sources : Repères, N°64, Alterre Bourgogne

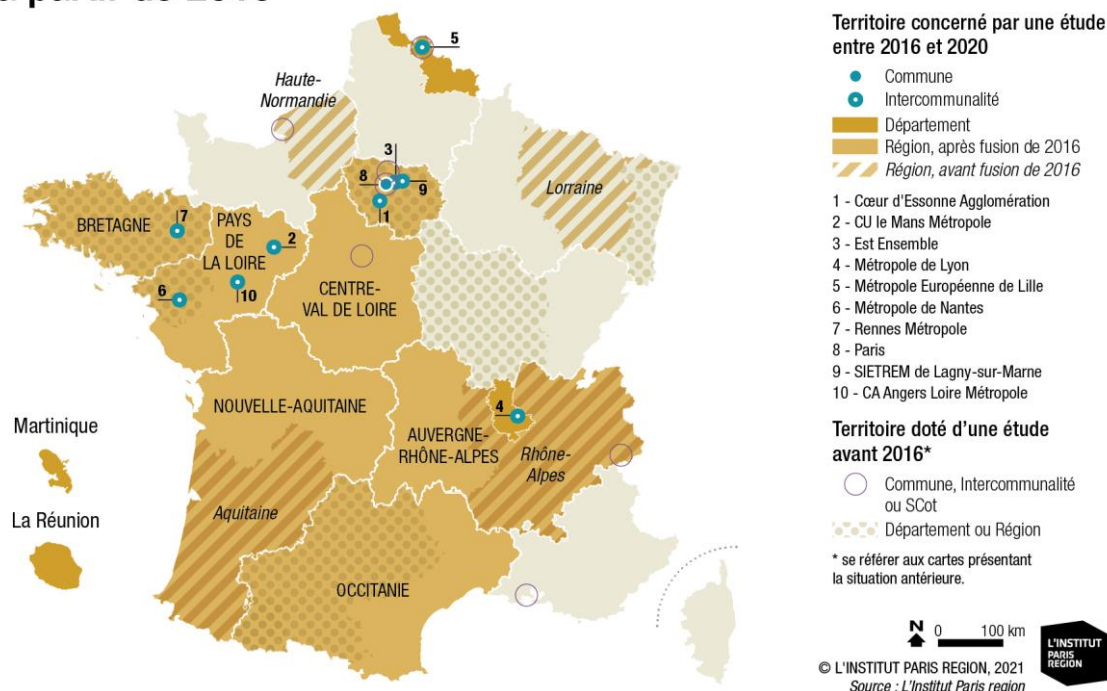
³⁸ Le document disponible en ligne sur https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Conf%C3%A9rence_environnementale_FRTE_2013.pdf, consulté le 8 mars 2021.

³⁹ Le document est disponible en ligne sur <https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/EIT%20-%20comptabilite%20des%20flux%20de%20matieres.pdf>, consulté le 5 mars 2021.

Les années 2015-2020 : la consolidation et la diffusion des études

Les années 2015-2020 voient s'accroître de manière significative la couverture de la France métropolitaine (et aussi les DOM-TOM) par des analyses de métabolisme territorial. Cette période est caractérisée par la promotion active du modèle d'une économie circulaire par l'intermédiaire des politiques publiques et de diverses réglementations aux niveaux européen et français.

Les territoires dotés d'étude de métabolisme à partir de 2016



Carte n°3 : Etudes de métabolisme territorial en France métropolitaine en 2020

La Stratégie Nationale de Transition Ecologique vers un Développement Durable 2015-2020 est dotée d'un axe « S'engager dans l'économie circulaire et sobre en carbone⁴⁰ ». Plus tard, la « feuille de route pour l'économie circulaire » publiée en 2018 par le gouvernement⁴¹ comporte un axe intitulé : « inciter les régions à réaliser des « bilans flux de matières » notamment en diffusant plus largement les outils méthodologiques disponibles et inciter les régions à élargir le rôle des observatoires déchets en conséquence ». En parallèle, le Plan Ressources pour la France, lui-aussi publié en 2018⁴², recommande l'amélioration des connaissances nationales en matière de ressources minérales, de biomasse non alimentaire et de sols, et dresse plus largement les contours de leur gestion dans une logique plus soutenable.

Ces documents stratégiques s'inscrivent dans la continuité de la loi TECV publiée en 2015. Cette dernière a notamment formalisé une définition de l'économie circulaire (inscrite à l'article L. 110-1-1 du Code de l'environnement), et a défini un objectif national de « découplage » c'est-à-dire de réduction de la consommation de matières premières par rapport à la création de richesses mesurée par le PIB. Cet objectif s'incarne donc dans une hausse de 30% du rapport entre PIB et consommation intérieure de matière entre 2010 et 2030. Ces travaux et avancées réglementaires ont été poursuivis

⁴⁰ La stratégie est disponible en ligne sur <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-transition-ecologique-vers-developpement-durable-2015-2020#:~:text=de%20la%20strat%C3%A9gie-,%20La%20strat%C3%A9gie%20nationale%20de%20transition%20%C3%A9cologique%20vers%20un%20d%C3%A9veloppement%20durable.Elle%20repose%20sur%20trois%20piliers.,> consulté le 28 avril 2021.

⁴¹ Le document est disponible en ligne sur <https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/feuille-route-economie-circulaire-frec>, consulté le 7 mars 2021.

⁴² Le document est disponible en ligne sur <https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/FREC%20-%20Plan%20Ressources%20pour%20la%20France%202018.pdf>, consulté le 27 février 2021.

et ont abouti à la promulgation d'une loi économie circulaire en février 2020. Celle-ci est structurée autour de trois axes⁴³ (l'information du consommateur, la lutte contre le gaspillage, dans l'alimentation comme dans le BTP, et la responsabilité des producteurs). Elle porte sur une diversité de secteurs et cible plus particulièrement les modèles actuels de la construction et de la gestion des déchets en général.

La diffusion des études de métabolisme territorial à un nombre croissant de territoires est donc intimement liée cette institutionnalisation de l'économie circulaire qui devient un objet politique dont les différents échelons territoriaux se sont emparés au fil des années.

Tout d'abord, à l'échelle régionale, les régions se sont, dans leur grande majorité, engagées des démarches de consolidation ou d'approfondissement quant à la connaissance et à l'observation des ressources naturelles. La plupart des réflexions prennent appui sur les acteurs et outils déjà en place en région, et ce, plus particulièrement les organismes regroupés au sein du Réseau des Agences de l'Energie et de l'Environnement (RARE). Ce dernier rassemble de multiples observatoires qui œuvrent depuis longtemps à un meilleur suivi des déchets ou des différentes biomasses (bois, agricole...). Un groupe de travail issu de l'association Régions de France réunit les référents déchets/économie circulaire des différentes régions sur les stratégies d'économie circulaire également.

D'une manière générale, les études associées aux ressources naturelles (eau, matériaux, énergie, déchets, biomasses...) sont souvent suivies de façon sectorielle et cloisonnée ce qui pose de nombreuses questions au regard des enjeux environnementaux actuels (mobilisations accrues de la biomasse, conflits d'usages, effets rebonds, épuisement de certains gisements...). Ces structures qui pilotent les études, la plupart du temps soutenues par les Conseils Régionaux, les collectivités locales, les services de l'ADEME et/ou de l'Etat en région, sont donc en première ligne pour répondre aux objectifs nationaux de connaissance des métabolismes territoriaux et de mise en œuvre de stratégies d'économie circulaire.

Ainsi, au 1^{er} semestre 2021, la quasi-totalité des régions sont lancées dans la préfiguration d'un observatoire des ressources : ce travail singulier pour lequel il n'existe pas de méthodologie nationale a été lancé en 2019 sur l'Île-de-France et a fait l'objet d'un rapport publié en mars 2021 par L'Institut Paris Region (ce dernier ayant été mandaté par l'ADEME, la DRIEAT (ex-DRIEE) et par la Région Île-de-France pour préfigurer un tel observatoire⁴⁴).

C'est dans ce contexte que les analyses commanditées par diverses institutions territoriales (notamment au niveau régional donc) se multiplient. Les DREAL, via différents services comme celui de la « Connaissance et Développement Durable » en Alsace-Champagne-Ardenne-Lorraine, ou celui « de l'Evaluation de l'énergie et de la Valorisation de la Connaissance » en Centre Val-de-Loire publient des études sur leurs régions respectives en 2016 et 2017. Ainsi, les régions Lorraine et Centre Val-de-Loire se voient dotées d'une étude de métabolisme territorial : la première a été réalisée par un groupement de bureaux d'études (ARTELIA & INRIA)⁴⁵ et la seconde par le CEREMA⁴⁶. Toutes deux ont été basées sur la méthodologie d'analyse de flux de matières « descendante » d'Eurostat.

Les métabolismes franciliens et parisiens sont actualisés et enrichis respectivement en 2018 (dans le cadre d'un post-doctorat de Vincent Augiseau financé par la Région Île-de-France au moment de l'élaboration de son Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets - PRPGD) et en 2019⁴⁷ (prestation effectuée par le bureau d'études spécialisé Citésources dont Vincent Augiseau est l'un des fondateurs dans le cadre d'un marché public). Le stock bâti de l'Île-de-France se voit aussi caractérisé par le travail de thèse soutenu également par Vincent Augiseau en 2017. La Nouvelle Aquitaine a de son côté finalisé son exercice en 2019⁴⁸ (réalisé par l'Agence Régionale d'Evaluation Environnement et Climat - AREC dans le cadre d'un comité de pilotage élargi avec l'ADEME, la Région, la DREAL, etc.).

⁴³ Voir notamment l'étude d'impact du projet de loi publié en juillet 2019 ainsi que l'ensemble du processus de validation de la loi sur http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/dossiers/lutte_gaspillage_economie_circulaire?etape=15-SN1-DEPOT, consulté 9 mars 2021.

⁴⁴ Voir Mariasine, L & Hemmerdinger, T. (2021) en bibliographie du rapport.

⁴⁵ L'étude est disponible en ligne sur <https://www.collectif-grandest.org/data/sources/users/12/8512102dreal-grand-estafmlorraineetudecomplete.pdf>, consulté le 8 mars 2021.

⁴⁶ L'étude est disponible en ligne sur <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/comptabilisation-des-flux-de-matieres-en-region-a2984.html>, consulté le 8 mars 2021.

⁴⁷ L'étude est disponible en ligne sur http://metabolisme.paris.fr/data/Rapport_final_citesources.pdf, consulté le 5 mars 2021.

⁴⁸ L'étude est disponible en ligne sur <https://www.arec-nouvelleaquitaine.com/documents/analyse-des-flux-de-matieres-en-nouvelle-aquitaine-donnees-2017/>, consulté le 20 avril 2021.

Une série de quatre analyses sur les régions Bretagne, Aquitaine, Haute Normandie et Rhône-Alpes a été publiée en 2016 par l'Institut National de l'Economie Circulaire (INEC)⁴⁹. Les rapports, réalisés par Adrian Deboutière et Laurent Georgeault, sont aussi basés sur la méthodologie d'Eurostat. Ils relèvent d'une auto-saisine dans le cadre du Programme national de synergies interentreprises (PNSI).

Certaines régions, dans le cadre de leur Plan Régional d'Action en Faveur de l'Economie Circulaire (PRAEC – intégré de manière obligatoire au PRPGD, qui est quant à lui intégré au SRADDET) ont procédé à une première quantification de leur métabolisme au niveau du diagnostic : Auvergne Rhône-Alpes, Pays de la Loire et Occitanie. Ces exercices ont été réalisés des bureaux d'études dans le cadre de marchés publics (études) et sont présentés en toute transparence comme partiels. « L'approche globale utilisée dans cette partie est celle de la comptabilité des flux de matières à l'échelle du système socio-économique régional. La méthode, reposant sur le principe de la conservation de la masse, n'est toutefois pas appliquée dans son intégralité et le résultat proposé n'est pas un métabolisme territorial complet et équilibré. Ce travail indique toutefois des ordres de grandeur à même de caractériser des enjeux quantitatifs et/ou stratégiques sur des flux de l'économie régionale (PRPGD Occitanie adopté le 14/11/2019, p. 285) ».

Ils consistent en une comptabilité de trois composantes du métabolisme sur la base d'une approche via la méthode d'Eurostat (extractions locales, importations et exportations) pour le cas d'Auvergne-Rhône-Alpes et de l'Occitanie. La région Pays de la Loire a réalisé une compilation de plusieurs bases de données (SITRAM pour le transport de marchandises, IREP pour les émissions de polluants ou substances dans l'environnement...) pour donner à voir quelques éléments sur les flux de la région. Ces travaux constituent ainsi une première étape vers un diagnostic plus complet des métabolismes territoriaux. En outre, il est intéressant de relever que, dans le cadre de l'élaboration de ces PRPGD, l'objectif de suivre et/ou de mieux connaître le métabolisme régional est parfois explicitement mentionné comme c'est le cas dans la région Grand Est, ou du côté des Pays de la Loire où « une meilleure connaissance du métabolisme » est identifiée comme un « enjeu d'avenir ».

La diffusion des études de métabolisme territorial s'observe par ailleurs au niveau des EPCI. La Métropole Européenne de Lille dans le cadre du programme de recherche-action POPSU Métropoles⁵⁰ (qui se poursuit actuellement et qui est piloté par Sabine Barles), le Grand Lyon (étude réalisée par un groupement de bureaux d'études et focalisée sur les importations et leur empreinte matérielle avec un ancrage très explicite dans le métabolisme territorial), Angers Loire Métropole (réalisée par le bureau d'études Inddigo) et plusieurs EPCI en Île-de-France (Cœur Essonne Agglomération et Est Ensemble) se sont aussi engagés dans l'exercice. Une analyse a également été publiée en 2017 sur la métropole de Nantes par une équipe d'étudiants de l'Ecole des Métiers de l'Environnement (Projet de formation Mastère Spécialisé Economie Circulaire) sous la direction de Jean-Baptiste Bahers. En outre, ce dernier a co-signé (avec Sabine Barles et Mathieu Durand) en 2019 un papier dans le *Journal of Industrial Ecology* comportant une étude du métabolisme de Rennes Métropole et Le Mans Métropole (en recourant à la méthode Eurostat tout en l'adaptant aux échelons infra-départementaux)⁵¹.

De plus, un mémoire de fin d'études (Duarte, 2016) a analysé les métabolismes de Lille et de Lyon, ou plus précisément, des départements du Nord et du Rhône, en 2016⁵². Ce travail (qui porte sur une douzaine d'aires métropolitaines européennes) fait l'objet d'une méthodologie d'analyse particulière (« un modèle d'analyse du métabolisme urbain ») développée par Pina et al. (2015). Leur méthode consiste à prendre appui sur la méthode Eurostat et certains de ses indicateurs en les articulant avec des tableaux économiques d'entrées et sorties monétaires.

La diffusion concerne également les départements d'outre-mer comme la Réunion et la Martinique qui se sont vus dotés d'une étude de métabolisme territorial respectivement en 2016⁵³ (réalisée par le groupement ABINGTON / EVEA suite à un marché lancé par NEXA l'Agence Régionale de Développement, d'Investissement et d'Innovation) et 2018⁵⁴ (réalisée par le CEREMA suite à une

⁴⁹ Les travaux sont disponibles en ligne sur <https://institut-economie-circulaire.fr/bilans-matieres-de-laquitaine-la-bretagne-la-haute-normandie-et-rhone-alpes/>, consulté le 10 mars 2021.

⁵⁰ Des informations sur le projet sont disponibles en ligne sur <http://www.popsu.archi.fr/popsu-metropoles/lille/presentation>, consulté le 8 mars 2021.

⁵¹ Une version de l'article est disponible en ligne sur <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02195025/document>, consulté le 19 avril 2021.

⁵² Le travail est disponible en ligne sur https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997256224/Tese_AROD_73441.pdf, consulté le 4 mars 2021.

⁵³ L'étude est intégrée dans un travail sur l'économie circulaire dont le rapport est disponible en ligne sur http://www.nexa.re/fileadmin/user_upload/2016-05-18_RapportNexa_Vamendee_FEDER.pdf, consulté le 5 mars 2021.

⁵⁴ L'étude est disponible en ligne sur <http://www.martinique.developpement-durable.gouv.fr/comptabilisation-des-flux-de-matieres-a-l-echelle-a1251.html>, consulté le 10 mars 2021.

commande de la DREAL locale). Ces deux études s'appuient elles-aussi sur le guide de Repellin, Duret & Barles (2014) et la méthodologie d'Eurostat.

Enfin, le projet MUEED (« Métabolisme urbain, empreinte environnementale et politiques de gestion des déchets ») piloté par trois établissements d'enseignement supérieur et de recherche (Université du Maine, Ecole des Métiers de l'Environnement, Université Paris-Est Marne-la-Vallée) et financé par l'ADEME comporte des analyses pour trois territoires à l'échelle locale⁵⁵. Basées sur la méthode Baccini et Brunner⁵⁶, les études portent sur Rennes Métropole, Le Mans Métropole et le SIETREM (syndicat de gestion des déchets en région parisienne). Les auteurs justifient le recours à la méthode Baccini & Brunner qui permet « d'identifier les flux entre les différentes activités du système [...]. Le système n'est alors pas identifié à un vase clos, mais au contraire, il représente des échanges avec l'extérieur, même s'ils ne correspondent pas à la focale principale de ces études ».

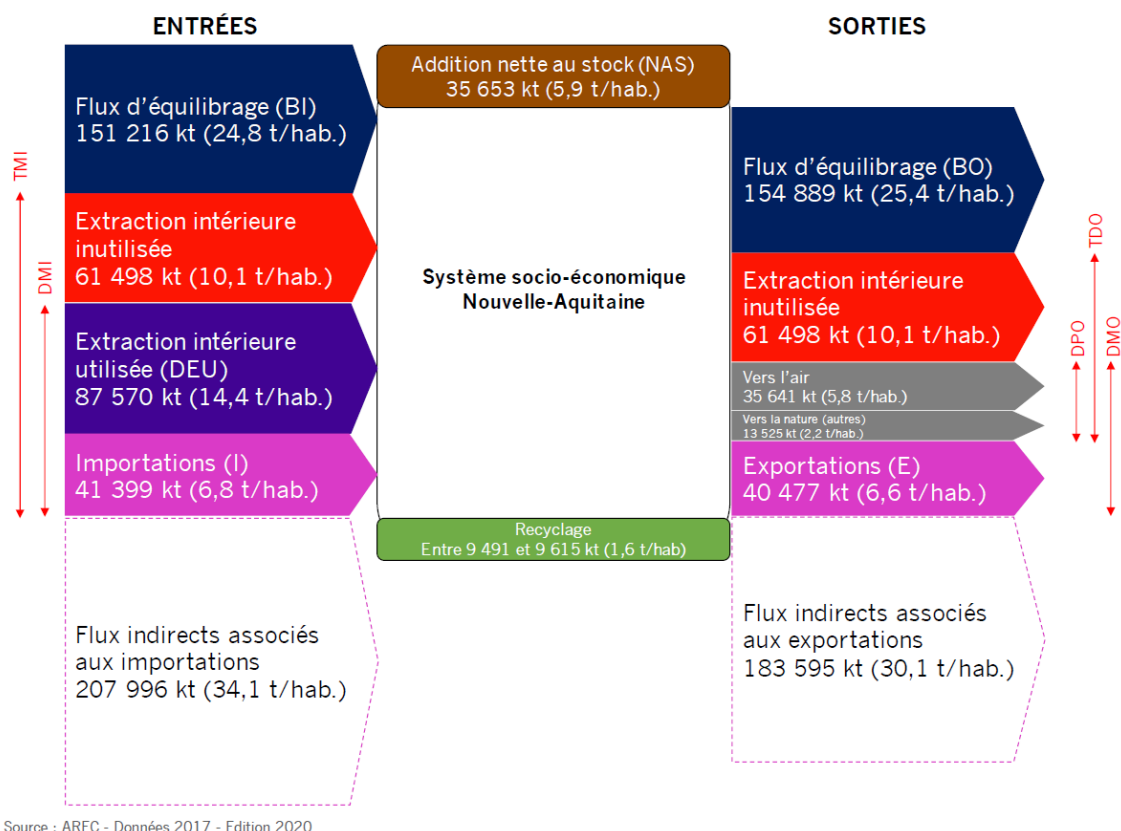


Figure 6. Schéma de principe et principaux indicateurs de l'analyse de flux de matières de la Nouvelle-Aquitaine en 2017. Sources : « Analyse de flux de matières de la Nouvelle-Aquitaine ». Les synthèses de l'AREC - ORDEC Edition 2020 – année 2017.

⁵⁵ Le rapport du projet est disponible en ligne sur http://eso-lemans.cnrs.fr/_resources/MUEED.Rapport%2520FINAL.pdf?download=true, consulté le 10 mars 2021.

⁵⁶ Cette méthode diffère de celle promue par Eurostat puisque elle permet d'identifier les flux entre les différentes activités du système étudié. Elle a été élaborée précisément pour les approches locales et a été appliquée (dans divers travaux majoritairement académiques et anglo-saxons) à plusieurs agglomérations et ou régions — en particulier Vienne et à Genève notamment en lien avec les travaux de Suren Erkman, pionnier de l'écologie industrielle. On peut y étudier des flux, mais aussi des processus ou des activités (ex : se nourrir, transporter, etc.). Elle est de type « ascendant » contrairement à la méthode promue par Eurostat. Par conséquent, elle requiert un travail encore plus important de recueil et assimilation de données afin de dresser un portrait détaillé de la circulation des flux dans un système socio-économique donné ce qui évite d'être confronté à une « boîte noire ». Pour plus d'informations sur ces aspects, se reporter à Morris (2016) en bibliographie du rapport.

Les études en cours

Au stade de publication du présent rapport (1^{er} semestre 2021) et compte tenu des informations recueillies lors de son élaboration, plusieurs territoires sont en cours d'actualisation de leur étude de métabolisme et d'autres se sont lancés dans un premier travail d'analyse.

Pour ce qui concerne les territoires qui actualisent la connaissance de leur métabolisme, la Région Pays de la Loire prévoit de publier son étude en 2021. Une réunion de restitution des résultats est prévue au second semestre 2021. L'actualisation est conduite par le CEREMA dans le cadre d'un pilotage conjoint entre la DREAL, l'ADEME et la Région. L'analyse suit la méthodologie d'Eurostat et les préconisations du guide référence de 2014. Cette étude s'inscrit directement dans la volonté du PRPGD régional de mieux connaître les flux de matières et d'énergie du territoire.

La Région Bourgogne-Franche-Comté, toujours sous l'impulsion de l'association Alterre, poursuit l'approfondissement des connaissances du métabolisme régional. Une étude a été envisagée, en partenariat avec l'INSEE, pour tenter d'associer les branches économiques avec les flux de matières et d'énergie. Cela vient corriger un défaut bien connu des études qui suivent la méthodologie d'Eurostat puisque celle-ci ne permet pas de repérer les lieux et acteurs des processus de circulation et de consommation de ressources dans le territoire étudié. Ces travaux ne sont actuellement pas engagés mais ils sont inscrits dans la « Feuille de route économie circulaire » régionale élaborée pour la période 2020-2025 (cf. action 6 de la feuille de route « Développer les études de flux de matières ⁵⁷»). Alterre souhaite aussi compléter l'étude de métabolisme existante par un travail sur l'empreinte eau. Ce travail sera réalisé avec l'appui du RARE dans les mois à venir.

Par ailleurs, l'étude existante pour la région Auvergne Rhône-Alpes inscrite dans le PRPGD est en cours d'actualisation par les services d'Auvergne Rhône-Alpes Energie Environnement (AURA-EE). Enfin, une analyse est en cours sur le périmètre du Pôle métropolitain de Nantes Saint-Nazaire. L'Institut de recherche en sciences et techniques de la ville (IRSTV), d'École Centrale de Nantes ainsi que l'association Metabolism of Cities sont notamment impliqués dans le projet.

Pour ce qui concerne les territoires qui se sont lancés dans une première étude de métabolisme territorial, la Métropole du Grand Paris a lancé son étude de métabolisme territorial début 2021 (étude à laquelle L'Institut Paris Region va contribuer en lien avec Inddigo, Mydiane et Citésources notamment). En lien avec le Cluster- Eau-Milieu-Sol, l'EPT Grand-Orly Seine Bièvre au sud de Paris travaille à la structuration d'une filière d'économie circulaire portant sur la valorisation des terres excavées. Ce projet s'apparente à une démarche de métabolisme urbain mais porte uniquement sur les flux de terres. L'EPA ORSA a lancé début 2021 un marché public pour identifier les gisements de matériaux et les filières de valorisation des déchets du BTP sur le territoire de d'Orly-Rungis Seine Amont.

La Guadeloupe, sous l'impulsion des services de l'Etat (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement -DEAL), a démarré son étude de métabolisme urbain en 2018. L'étude menée par le CEREMA est en cours de réalisation.

En parallèle, d'autres territoires ont déclaré avoir la volonté de lancer une étude de métabolisme territorial à court terme. Toujours au niveau métropolitain ou intercommunal, la Métropole de Rennes prévoit de lancer une étude de métabolisme territorial dans les mois à venir. La Communauté d'Agglomération Paris Saclay a inscrit dans son PCAET l'objectif de « poursuivre ce travail de diagnostic par une étude permettant d'affiner la connaissance du métabolisme du territoire. L'analyse pourra être conduite par matériaux, afin d'identifier des écosystèmes complets (producteur-transformateur-consommateur), en ciblant prioritairement les matières/ressources suivantes : Les terres excavées, les granulats, le mobilier de bureau, les déchets verts, les biodéchets, le fumier de cheval, les pneus (particulièrement présents dans les dépôts sauvages), les matelas (particulièrement présents dans les dépôts sauvages), l'eau. En fournissant une vision complète des écosystèmes locaux, des filières existantes et des ressources valorisables, cette étude constituera un solide outil d'aide à la décision permettant aux élus de faire le choix ou non d'accompagner le développement de certaines filières sur le territoire ⁵⁸». La Communauté de Communes du Pays de Montereau (CCPM) en Seine-et-Marne, prévoit d'en faire de même puisque le programme d'action du PCAET prévoit d'engager « une analyse flux matière énergie permettant d'engager des projets d'économie

⁵⁷ Le document est disponible en ligne sur <https://www.bourgognefranche-comte.fr/sites/default/files/2020-11/FREC%20fiches%20actions%20d%C3%A9lib%C3%A9ration%20juin%202020-3.pdf>, consulté le 23 avril 2021.

⁵⁸ Sources : Plan Climat Air Energie Territorial. Communauté d'Agglomération Paris Saclay.2019-2024. p. 97. En ligne sur http://www.paris-saclay.com/fileadmin/documents/1_L_agglo/5_Publications/PCAET_ParisSaclay_complet.pdf, consulté le 20 avril 2021.

circulaire sur le territoire⁵⁹». Précisons ici qu'il est probable que de nombreux territoires infra-régionaux français se soient engagés dans de telles démarches (et ce notamment dans le cadre de leur PCAET) et qu'il est difficile d'avoir une vision exhaustive de ces travaux. Notre recensement est donc sur ce point loin d'être complet.

Le réseau des agences d'urbanisme (rassemblé par la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme - FNAU) s'engage aussi sur ce terrain des études de métabolisme territorial. L'agence d'urbanisme Atlantique & Pyrénées (AUDAP) travaille de son côté sur la connaissance des flux de matières liés à la construction et au BTP, sur l'acculturation des acteurs et leur mise en réseaux, et plus globalement, sur la mise en place d'une stratégie d'économie circulaire partagée sur ces ressources. L'AUDAP et ses partenaires ont fait le choix de s'intéresser à la méthodologie de la « toile industrielle » mise en œuvre par l'agence d'urbanisme Flandres-Dunkerque à la fin des années 2000⁶⁰, et de l'adapter au cas des matériaux et déchets du BTP.

Enfin, d'autres études sont en cours à l'échelle encore plus fine des projets d'aménagement et d'urbanisme. Leur entrée est donc moins territoriale, que projet. Ce type d'études appellent des méthodologies particulières que les équipes de la Chaire « Économie circulaire et Métabolisme urbain » de l'Université Gustave Eiffel développent depuis quelques années. Plusieurs projets (ZAC des Ardoines, Centre Aquatique Olympique et ZAC Saulnier, projet Cycle Terre à Sevran dans le 93, projet E3S à Châtenay-Malabry dans le 92...) ont ainsi été étudiés sous l'angle de leurs flux de matériaux entrants et sortants. Les articles de recherche de Fernandez, Blanquart et Verdeil (2018) et de Fernandez, Blanquart, Niérat et Verdeil (2019) (disponibles en bibliographie du rapport) en détaillent la méthode et résultats.

⁵⁹ Sources : Plan d'actions du PCAET de la CCPM, p. 50. En ligne sur <https://paysdemontereau77.fr/pcaet/>, consulté le 22 avril 2021.

⁶⁰ Des informations sur cette démarche sont disponibles en ligne sur <http://www.agur-dunkerque.org/etudes-projets/article13>, consulté le 21 avril 2021.

Focus sur l'Île-de-France, un territoire pionnier en matière de métabolisme territorial

Une densité importante d'analyses de métabolisme territorial se trouve en Île-de-France (cf. carte n°5), territoire qui a été couvert par des études pionnières et qui continue de concentrer les investigations en termes de flux de matières et d'énergie. L'Île-de-France accueille par ailleurs des acteurs et institutions (notamment de recherche scientifique) qui ont été impliqués très tôt dans le développement des méthodes d'analyse, et plus largement, dans le développement du champ de l'écologie territoriale en France. Citons parmi ces investigations, les travaux pionniers réalisés sur l'empreinte écologique en Île-de-France en 2004 puis 2014⁶¹ (cf. Cordeau & Nascimento, 2007 en bibliographie du rapport). Citons également, pour ce qui concerne les flux de matériaux de construction, un premier travail exploratoire réalisé dans les années 2012-2015 pour l'élaboration du Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics - PREDEC (plan issu de la loi de décentralisation de 2004, dont le contenu est désormais intégré dans le PRPGD).

Au-delà de ces travaux (qui ne se revendiquaient pas explicitement du métabolisme territorial mais qui ont contribué à développer la connaissance sur les flux de matière et d'énergie), l'analyse réalisée en 2018 par l'Université Paris I (laboratoire Géographie-cités avec Vincent Augiseau et Sabine Barles dans le cadre d'un post-doc commandé par la Région Île-de-France à l'occasion de son PRPGD) est venue actualiser cette connaissance du métabolisme francilien qui remonte à la fin années 2000. Les résultats ont été intégrés dans le PRPGD adopté fin 2019 afin d'en enrichir le diagnostic, ainsi que dans la Stratégie Régionale d'Economie Circulaire votée en septembre 2020 au niveau des indicateurs à suivre dans le temps (notamment la consommation intérieure de matières dite *DMC*). Des publications de L'Institut Paris Region en ont synthétisé les résultats⁶².

A l'échelle plus locale des territoires, Cœur Essonne Agglomération s'est doté d'une étude de métabolisme (analyse méthode Eurostat réalisée par un groupement de bureaux d'études) en 2017, rejoignant Plaine Commune et Paris parmi les institutions infrarégionales dotées d'une étude de métabolisme territorial. Ces deux territoires sont aujourd'hui dotés de stratégies d'économie circulaire dont la structure et les objectifs diffèrent (voir Hemmerdinger, T. (2020) en bibliographie du rapport pour plus d'informations). Leur étude de métabolisme territorial a servi de préalable à la mise en place de ces stratégies et a pu être intégrée dans d'autres outils de planification territoriale⁶³.

L'EPT Est Ensemble à quant à lui réalisé un exercice particulier en 2019 qui ne s'assimile pas à une étude du métabolisme territorial basée sur la méthode d'Eurostat à l'échelle de l'ensemble du territoire, mais qui constitue un travail prospectif sur les flux de matériaux de construction et déchets de chantiers à partir d'une vingtaine d'opérations d'aménagement (travail réalisé par Citésources). Cette étude relève, à l'image de Plaine Commune ou Cœur Essonne Agglomération, d'un engagement du territoire d'Est Ensemble dans l'économie circulaire, attesté par la formalisation d'un « Plan économie circulaire » portant sur la période 2019-2021.

Enfin, la Ville de Paris a mis à jour son étude de métabolisme urbain fin 2019. Il s'agissait non seulement de mettre à jour la connaissance des flux et stocks du territoire, de produire des indicateurs susceptibles de nourrir le suivi et l'évolution de la feuille de route de l'économie circulaire qui porte sur la période 2017-2020⁶⁴, mais aussi de retranscrire les résultats de façon pédagogique sur la plateforme metabolisme.paris.fr⁶⁵. Un séminaire dédié à ces sujets s'est tenu en avril 2021⁶⁶.

⁶¹ Voir également deux Notes rapides (n°403) et n°700) de l'Institut Paris Region sur ce sujet, en ligne sur <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/l'empreinte-ecologique-des-habitants-de-la-region-dile-de-france/> (consulté le 9 juin 2021) et sur - <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/une-amelioration-continue-de-l'empreinte-ecologique-moyenne-des-franciliens/> (consulté le 9 juin 2021).

⁶² Voir notamment Hemmerdinger & al. (2019). « L'Île-de-France face au défi de l'économie circulaire », Institut Paris Region, Note rapide n°804, En ligne sur <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/lile-de-france-face-au-defi-de-leconomie-circulaire.html>, consulté le 5 mars 2021.

⁶³ C'est notamment le cas du Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET) de Plaine Commune qui s'appuie sur l'étude de métabolisme urbain et met en place des actions dédiées autour de l'accélération du travail du territoire autour du réemploi et recyclage de matériaux. Pour plus d'informations, voir https://plainecommune.fr/fileadmin/user_upload/Portail_Plaire_Commune/LA_DOC/PROJET_DE_TERRITOIRE/Agenda21/Plan_Climat_Air_Energie/2-PCAET_Strategie_programme_dactions_PlaireCommune.pdf, consulté le 21 avril 2021.

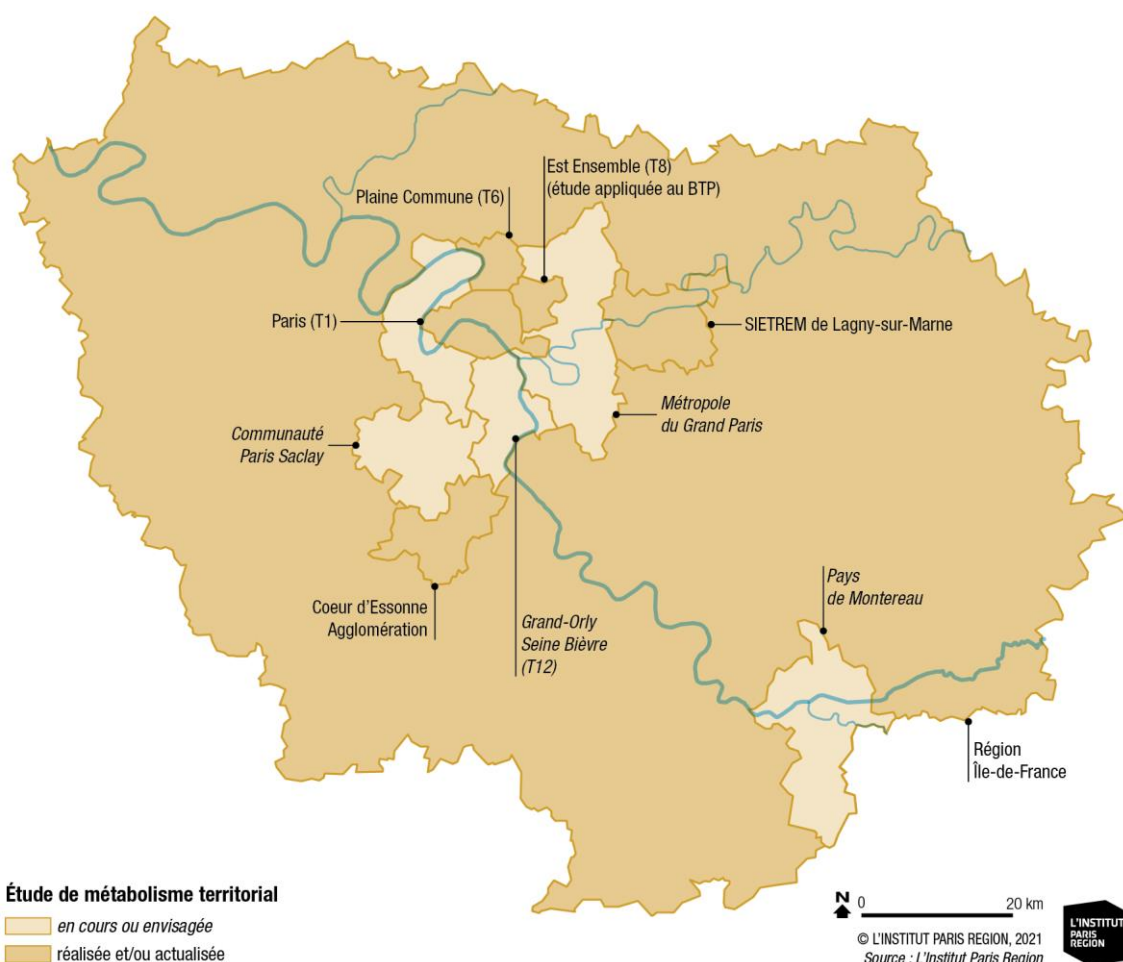
⁶⁴ Pour plus d'informations sur cette feuille de route, voir en ligne sur <https://www.paris.fr/pages/economie-circulaire-2756>, consulté le 20 avril 2021.

⁶⁵ Voir en ligne sur <http://metabolisme.paris.fr/#accueil>, consulté le 19 avril 2021.

⁶⁶ Le replay du séminaire est disponible en ligne sur <https://www.youtube.com/watch?v=WfEMr7j1bX0>, consulté le 20 avril 2021.

On assiste donc à une diffusion importante de ce type d'études sur la région francilienne, qui s'observe principalement sur des territoires très urbanisés sur le cœur de l'agglomération. Ces territoires se sont lancés dans des démarches d'économie circulaire sur tout ou partie des flux de leur métabolisme depuis plusieurs années. L'étude de flux de matières et d'énergie a été l'une des premières briques de ces démarches⁶⁷. Les analyses de flux de matières viennent s'aligner sur l'architecture institutionnelle complexe de la région capitale (Paris, EPT, Métropole du Grand Paris, Départements, Région). En outre, cela peut créer localement une combinaison des études sur des territoires à différentes mailles, posant ainsi la question de la mise en cohérence des exercices et des politiques qui en découlent au sein d'une région où les interdépendances entre les territoires sont fortes.

Les territoires ayant lancé des études de métabolisme au 31 décembre 2020



Carte n°4 : Les études de métabolisme territorial en Île-de-France

⁶⁷ Pour plus d'informations sur ces démarches et sur le rôle de l'étude de métabolisme territorial dans ces dernières, voir Hemmerdinger, T. (2020). « Pour des territoires sobres en ressources et circulaires », AREC-Îdf, Institut Paris Region, en ligne sur <https://www.arec-idf.fr/nos-travaux/publications/pour-des-territoires-sobres-en-ressources-et-circulaires.html>, consulté le 10 mars 2021.

Bilan de l'état des lieux

Cet état de lieux a permis de constater une couverture croissante des territoires français, et plus particulièrement de l'Île-de-France, par les études de métabolisme territorial. A la fin de l'année 2020, une quarantaine de territoires sont couverts par des études de métabolisme territorial livrées entre les années 2000 et 2020. Trois territoires seulement étaient dans cette situation en 2010.

Le nombre d'études de métabolisme territorial n'est pas équivalent au nombre de territoires couverts par de telles analyses. En effet, au sein d'une même commande publique ou projet de recherche, des analyses de flux de matières et d'énergie peuvent être conduites sur des territoires différents. C'est notamment le cas de l'article de Bahers & al. (2019), du projet MUEED de 2016, des travaux issus du projet ANR Confluent dont les résultats sont synthétisés par Barles (2014) ou encore de la commande de la Ville de Paris pour actualiser son métabolisme en 2019 qui a donné lieu à quelques modifications de données pour l'échelon régional (notamment à des fins de consolidation de comparaisons).

Force est de constater, au-delà de cette diffusion active à l'échelle des territoires, l'existence de foyers à partir desquels les études ont été lancées puis approfondies ou mises à jour. De cette façon, l'Île-de-France (qui a concentré les acteurs pionniers pour le développement des méthodes d'analyse qu'ils soient académiques ou institutionnels), mais aussi le département du Nord et l'agglomération lilloise, la Bretagne et l'ouest (Pays de la Loire) de manière plus globale, peuvent être considérés comme des territoires où la connaissance des flux de matières et d'énergie a été la plus explorée ces vingt dernières années. Le recensement permet de dégager les territoires qui ont été l'objet de plusieurs études (l'Île-de-France à quatre reprises, Paris à trois reprises, la région Bretagne à deux reprises, etc.) ou dont le métabolisme a déjà été exploré partiellement sur diverses échelles institutionnelles au sein d'un même espace (département du Rhône et métropole lyonnaise, commune de Lille, département du Nord, Métropole Européenne de Lille, ancienne région Aquitaine puis étude à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine, etc.).

D'une manière générale, deux facteurs principaux peuvent à notre sens expliquer cette diffusion rapide des études de métabolisme territorial : il s'agit là du résultat du renforcement et de la diversification des travaux académiques d'une part, et de la continuité des politiques nationales et des diverses évolutions législatives qui portent l'économie circulaire depuis les années 2010 d'autre part. La promotion de l'économie circulaire par les institutions territoriales (Régions et EPCI), en tant qu'objectif majeur de l'action publique, apparaît ici essentielle.

La période 2015-2020 se distingue assez nettement en termes de nombre d'études publiées (28 sur les 44 études recensées soit 64%), preuve que l'accroissement des travaux est une tendance relativement récente. Cela est aussi cohérent avec les éléments rappelés dans l'introduction du rapport quant à l'accélération des travaux scientifiques sur le métabolisme territorial (cf. figures 1 et 2). Les années 2016 et 2019 ont été les plus actives quant à la publication d'études.

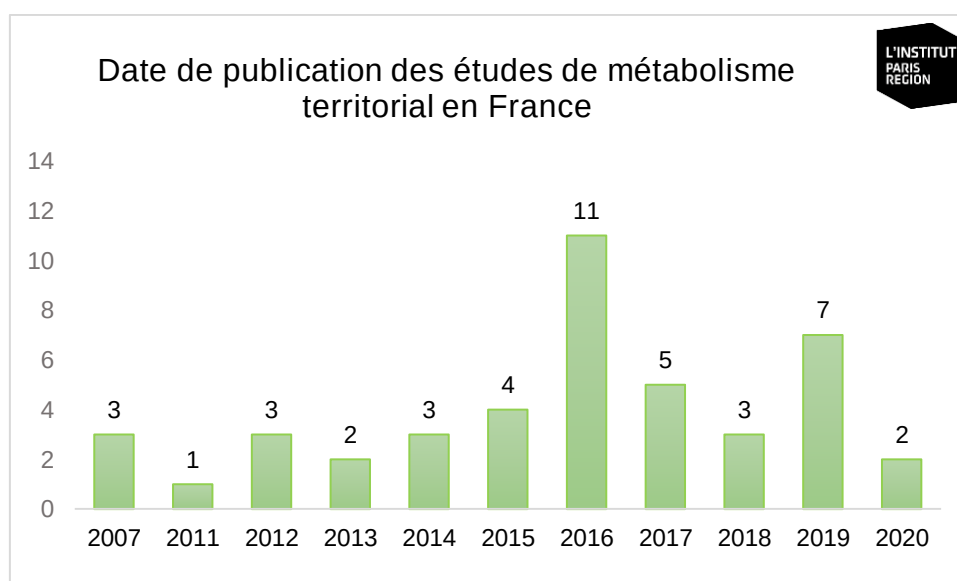


Figure n°7 : nombre d'études de métabolisme territorial selon leur date de publication.

Les travaux se situent principalement à l'échelle régionale (18 études, 41% des travaux recensés) et à celle des EPCI (11 études, 25% des travaux recensés). Les échelles communales et départementales⁶⁸ complètent les travaux (12 études au total). Cela s'explique par le rôle important donné au duo région-EPCI ces dernières années en matière de compétences à la fois d'aménagement, d'économie ou d'environnement (notamment depuis les lois MAPTAM et NOTRe de 2014 et 2015), mais aussi par la présence, au sein des grandes métropoles, de plusieurs instituts et laboratoires de recherches qui travaillent sur le métabolisme territorial. Par ailleurs, les données doivent être considérées comme le nerf de la guerre en matière de connaissance des métabolismes territoriaux. Or, elles sont généralement plus accessibles aux échelles régionale ou départementale ce qui facilite les exercices sur ces territoires et ce, plus particulièrement pour les travaux ancrés dans une approche descendante d'Eurostat. Inversement, cela peut les compliquer sur des échelles inférieures lorsqu'elles veulent s'engager dans une étude de métabolisme en suivant cette approche.

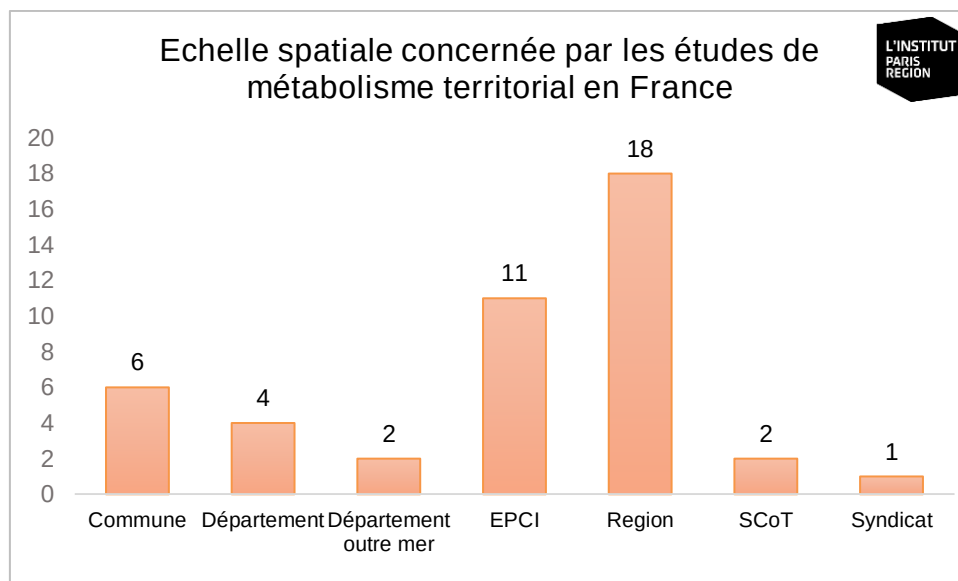


Figure n°8 : Echelle spatiale concernée par les études de métabolisme territorial en France

En effet, l'étude du métabolisme territorial via l'analyse de flux de matières, elle-même basée sur la méthode d'Eurostat et sur les recommandations du guide national par Repellin, Barles & Duret (2014), compte pour la grande majorité des études recensées. 54 % des territoires concernés par des études de métabolisme territorial recensées dans ce travail ont utilisé la méthode d'Eurostat, en suivant les préconisations du guide national de Repellin, Duret & Barles (2014). Si l'on y ajoute les études ayant pris appui sur cette méthodologie en l'adaptant aux contextes locaux, en calculant certains de ces indicateurs, ou en voulant en contourner certaines limites, ce sont 77% des études de métabolisme territorial qui relèvent d'une méthodologie d'analyse de flux de matières selon Eurostat ou de façon adaptée ou dérivée de ce cadre. Il existe donc un certain consensus, plus ou moins explicite, au niveau méthodologique lorsqu'un territoire souhaite faire une analyse de son métabolisme : se référer au guide référence qui a permis de dresser un cadre et de donner des recommandations particulièrement utiles aux acteurs engagés sur ces sujets. Cela corrobore le constat évoqué en introduction du présent rapport quant à la domination des méthodes comptables comme ensemble de méthodologies le plus diffusé à l'heure actuelle. Cela confirme aussi le succès de ce guide de référence et son impact sur la diffusion de tels travaux.

A côté des études qui suivent les recommandations du guide national de 2014, un nombre croissant d'études tentent d'adapter la méthode Eurostat descendante en la complétant par des travaux sur le flux d'eau (c'est le cas sur la Métropole Européenne de Lille dans le cadre du programme POPSU Métropoles) et ce, notamment dans le cas des travaux aux échelles locales (communes ou EPCI). Toujours localement, des méthodologies particulières et variées sont également de plus en plus utilisées pour investir certains flux des métabolismes territoriaux, qu'il s'agisse de l'énergie (méthode du bilan énergétique qui s'inspire de la méthode d'Eurostat avec les entrées et sorties d'un système donné) mais aussi et surtout des matériaux de construction où les méthodologies dites « ascendantes » se développent (dans le sillage des travaux du projet ASURET puis de la thèse de

⁶⁸ A noter le cas de Paris, particulier, puisque la Ville est à la fois une commune et un département. A ce stade, Paris est identifiée comme une commune dans le présent rapport.

Vincent Augiseau (2017). Notons que les méthodes peuvent aussi être appliquées sur tout ou partie du territoire sur lequel l'étude porte : c'est par exemple le cas à Est Ensemble où l'étude de métabolisme appliquée aux matériaux du bâtiment porte sur des chantiers importants. De plus, ces choix méthodologiques peuvent être statiques (c'est-à-dire porter sur une année précise) ou bien plus dynamiques (avec une vision prospective dans le temps notamment).

Par ailleurs, près de 50% des travaux recensés relèvent d'une démarche d'étude, c'est-à-dire qu'ils ont été réalisés dans le cadre de la commande publique émanant d'institutions territoriales ou d'organismes publics (comme le cas des études de l'INEC en 2016). 13 études parmi les 44 recensées s'inscrivent pleinement dans le champ de la recherche scientifique et un autre type plus hybride d'études sont placées dans une démarche de « recherche-action ». Pour ces dernières, les universités ou laboratoires de recherche sont le plus souvent à la manœuvre (avec ou sans appui d'autres acteurs). Les collectivités ou institutions publiques (l'ADEME est régulièrement impliquée dans ce cas de figure) y sont également impliquées en tant que commanditaire ou que co-pilote de l'étude.

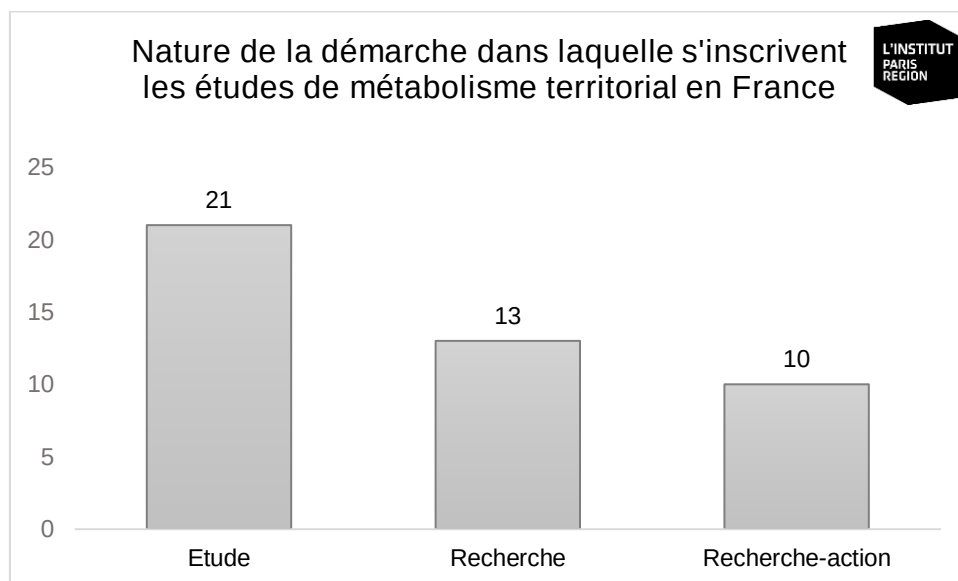


Figure n°9 : Nature de la démarche dans laquelle s'inscrivent les études de métabolisme territorial en France

Ainsi, au-delà du cadre dans lequel elles s'inscrivent, ces études ont été impulsées par un nombre relativement restreint, mais de plus en plus diversifié, d'acteurs et de structures. Les commanditaires des études recensées se répartissent principalement entre les universités et laboratoires de recherche (41% des études réalisées) et les associations et institutions publiques (16%). Ces deux commanditaires semblent généralement lancer leur exercice plutôt dans une logique d'auto-saisine. Les EPCI et autres échelons locaux ainsi que les régions (avec ou sans appui de l'ADEME) ont lancé environ 30% des études recensées. Les services de l'Etat et leurs déclinaisons territoriales sont à l'origine de 12% des études, complétant ainsi un panel diversifié de commanditaires.

En ce qui concerne les prestataires qui ont réalisé ces travaux, les universités, leurs laboratoires et leurs projets de recherche ont réalisé 45% des études recensées jusqu'à là. Les bureaux d'études, souvent sous forme de groupements, ont conduit 23% des études, et associations ou organismes publics (tels que l'INEC, ou le CEREMA...) 16%. Ces trois types d'acteurs comptent donc pour près de 84% des maîtres d'œuvre des études de métabolisme territorial. Le reste des études est réalisé par des groupements mixtes entre ces mêmes acteurs dans le cadre de travaux partenariaux.

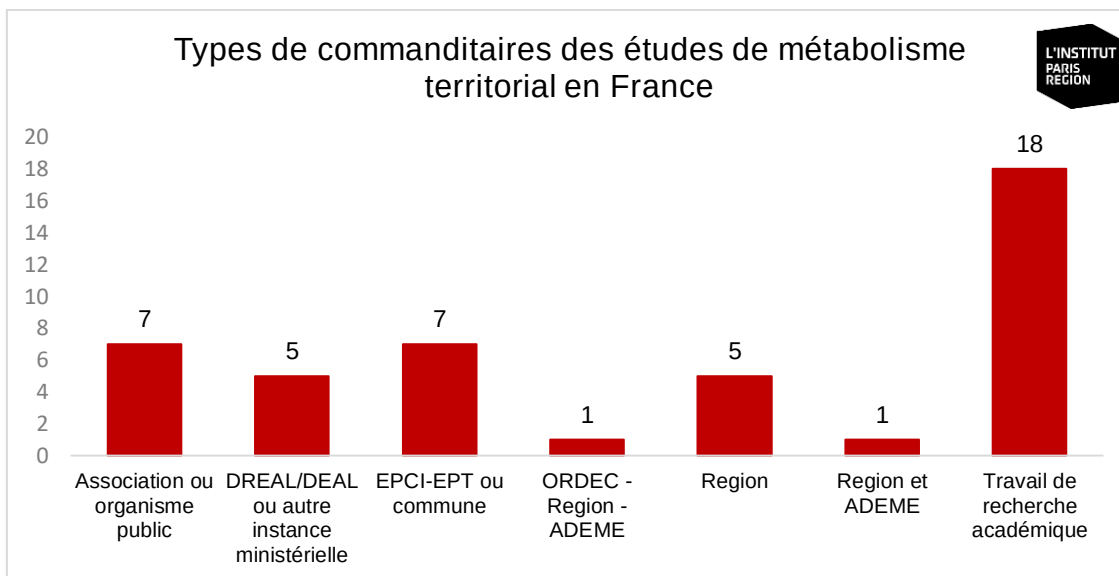


Figure n°10 : Types de commanditaires des études de métabolisme territorial en France

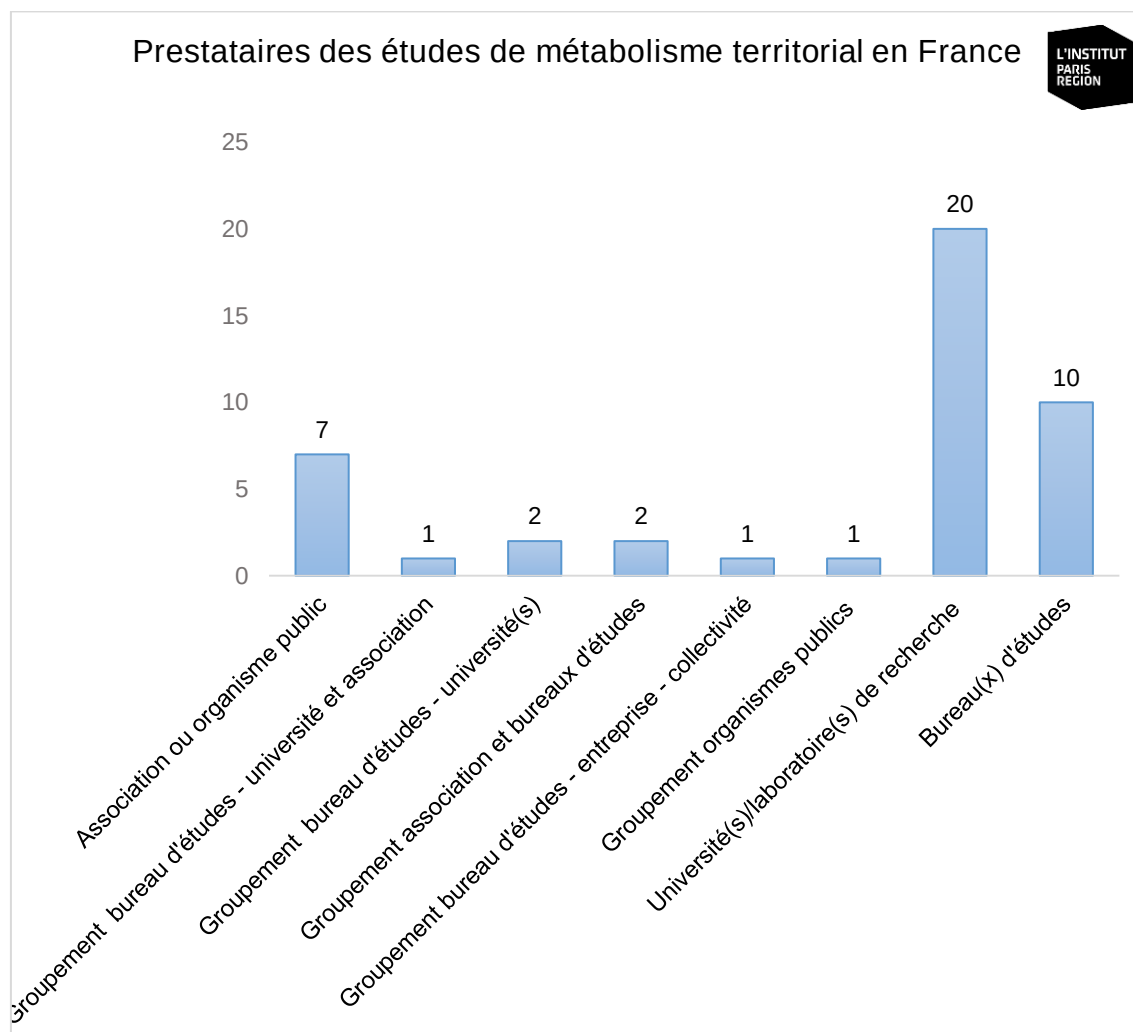


Figure n°11 : Nature des prestataires des études de métabolisme territorial en France

Conclusion(s) et perspectives

Ce travail de recensement des études de métabolisme territorial en France depuis les années 2000 est inédit. Il visait à démontrer la couverture croissante du territoire national par les études de métabolisme à différentes échelles, à souligner la diversification des acteurs impliqués dans ces études tant au niveau de leurs commanditaires, que de leurs prestataires. Nous concluons donc que, en l'espace de vingt ans, ces travaux tendent à former un objet à part entière de l'action publique à l'échelle des territoires, tout en restant un terrain privilégié de la recherche scientifique ancrée dans l'écologie territoriale.

D'un côté, le recensement met en évidence l'existence de territoires pionniers sur lesquels les connaissances du métabolisme sont consolidées (mais pas nécessairement complètes...). De l'autre, force est de constater qu'il subsiste encore des espaces sur lesquels des études de ce type n'existent pas. Cela ne signifie pas que la connaissance de flux de matière et d'énergie n'y est pas développée, ou qu'il n'existe pas de programmes ou projets liés à l'économie circulaire par exemple. Cela renvoie plutôt à une diffusion rapide et importante de l'approche par le métabolisme territorial comme cadre de travail ou comme outil de diagnostic préalable à la conduite de politiques (notamment « circulaires »), mais ne doit pas occulter que l'appropriation de cette approche est encore incomplète.

Notre travail comporte plusieurs limites. Tout d'abord, il serait important d'affiner notre lecture des méthodes mises en œuvre. Si la méthode désormais quasi-normalisée d'Eurostat s'impose dans les cahiers des charges, elle ne doit pas conduire à envisager de manière restreinte les études de métabolisme territorial à cette seule et unique méthode. Un certain paradoxe émerge ainsi.

D'un côté, les limites de cette méthodologie de référence sont bien connues et identifiées par les acteurs impliqués qui en soulignent régulièrement les défauts sur lesquels nous ne sommes revenus que ponctuellement dans ce rapport. De l'autre, les territoires expriment le besoin de disposer d'études normées, à des fins de comparaison avec d'autres territoires, ou bien pour eux-mêmes disposer d'une méthode ayant déjà été éprouvée et testée par ailleurs notamment. Sur le papier, la méthodologie d'Eurostat permet tout cela. Dans la pratique, de telles études « normées » sont plus complexes à réaliser et à interpréter pour une variété de raisons sur lesquelles nous ne reviendrons pas ici (changements de nomenclatures, de périmètres statistiques entres autres...). Ajoutons qu'il n'existe pas à jour de publication officielle pour ce qui concerne les comparaisons entre territoires et études de métabolisme. Certains travaux (notamment ceux pilotés par le CEREMA, ou bien compilés dans le guide national de 2014) ont rassemblé plusieurs indicateurs de diverses études de métabolisme territorial selon la méthodologie d'Eurostat. On retrouve aussi des comparaisons entre exercices dans certains travaux universitaires (voir notamment lablonovski & Bognon (2019) en bibliographie du rapport).

De nombreux territoires sont engagés ici et là dans une logique d'amélioration des connaissances de leurs métabolismes, avec pour objectif global de mieux gérer leurs impacts et leur gestion. Ces territoires ne partent souvent pas de rien... Ayant à l'esprit la fonction de L'Institut Paris Region de « passeur de recherche » entre le monde professionnel et le monde académique, il nous apparaissait important de mieux diffuser ces études de métabolisme territorial existantes auprès des acteurs intéressés et/ou lancés sur la voie de l'économie, des territoires, circulaires. L'objectif souvent mis en avant est de surmonter les limites de l'approche descendante d'Eurostat en incluant par exemple des données sur la ressource en eau (comme à la métropole de Lille, ou comme envisagé par Alterre Bourgogne notamment). Un autre chantier sur ce plan renvoie aux liens possibles avec la comptabilité « classique » qui s'intéresse elle-aussi de plus en plus aux outils qu'il est possible de développer pour prendre en compte le capital naturel. Deux niveaux d'investigation apparaissent intéressants sur ce point : quelle(s) capacité(s) des écosystèmes à poursuivre la fourniture de ces besoins au regard des stocks existants ? Quelle(s) capacité(s) des écosystèmes à absorber les rejets de toutes sortes au regard des limites planétaires et cycles biogéochimiques ?

Derrière ces perspectives possibles en termes méthodologiques, l'enjeu plus global d'une meilleure observation des ressources, et ce, dans une logique coopérative, se dessine⁶⁹. Il s'agit « d'être en capacité de dialoguer entre régions, à la fois pour mutualiser les réflexions, bases de données et

⁶⁹ Sur ce point, de nombreux territoires (notamment régionaux) sont engagés dans une diversité de réflexions. Pour plus d'informations, se reporter au webinaire du RARE « Ressources et flux de matières dans les territoires : les connaître pour mieux agir » organisé en avril 2021 évoqué en introduction du présent rapport.

méthodes, mais aussi être en mesure de mieux suivre les flux interrégionaux de ressources et développer des coopérations sur ces flux » (Mariasine & Hemmerdinger, 2021, p. 10).

Notre travail n'aborde pas non plus les questions de budget, de financement, des études recensées. En outre, le recensement n'a pas permis d'avoir une vision claire du financement des études, qui n'est pas toujours explicitement détaillé dans les rapports qui rendent compte des travaux effectués. Or, il s'agit là de questions essentielles : le guide de Repellin, Duret & Barles (2014) fait mention d'un budget temps de 85 jours pour conduire une première étude à l'échelle régionale ou départementale selon la méthodologie aujourd'hui largement diffusée d'Eurostat. De l'aveu même de certains acteurs rencontrés lors du recensement, ce budget temps correspond à des montants qui seraient aujourd'hui (notamment au regard de la crise sanitaire de la Covid-19) parfois difficilement mobilisables. Néanmoins, les prestataires qui travaillent sur ces études œuvrent non seulement pour améliorer les méthodologies afin de mieux guider les décideurs, mais maîtrisent également de mieux en mieux des méthodes variées et adaptables aux contextes et objectifs politiques des territoires. L'enjeu de capitaliser sur les études existantes, dans une logique rationnelle, est donc fondamental sur ce plan.

Face à ces questions et défis multiples, on peut ainsi s'interroger sur l'avenir de ce guide national de référence, qui mériterait une actualisation afin d'intégrer les progrès méthodologiques récents, l'évolution des coûts des études, et d'ouvrir la vision des études de métabolisme territorial à d'autres méthodes (plus « ascendantes », ou dynamiques dans le temps, plus spatialisées...) au-delà de celle d'Eurostat. Notre recensement permet de souligner la diversité croissante des méthodologies qui relèvent principalement de la comptabilité environnementale focalisée sur les flux de matières et d'énergies. Il appelle à poursuivre la mise en place d'autres méthodes (comme c'est déjà le cas, notamment aux échelons intra-régionaux), à élargir le champ des études de métabolisme territorial et donc la manière dont on les définit le cas échéant⁷⁰.

Notre travail ne permet pas de qualifier l'utilisation concrète de chaque étude de métabolisme territorial, ni le niveau d'appropriation de ces dernières par les territoires sur lesquelles elles portent. Dressons le constat suivant : les études de métabolisme territorial semblent aujourd'hui à passer d'un objet technique étudié en premier lieu par un petit nombre de chercheurs, à un outil d'accompagnement des politiques publiques dont les institutions qui gouvernent les territoires se saisissent de plus en plus. Au-delà de cette diffusion des études de métabolisme territorial, il serait donc intéressant d'investir la question de leurs retombées concrètes et opérationnelles, afin de corroborer l'hypothèse selon laquelle les études, notamment les analyse de flux de matière et/ou d'énergie, sont de réels outils de gouvernance des territoires (Ribon & al., (2018). L'intégration de ces études dans le champ de l'aménagement et de l'urbanisme, tant au niveau planification, qu'au niveau opérationnel, nous intéressera plus particulièrement à l'avenir (et ce notamment dans le cadre du travail de recherche doctorale menée actuellement au sein de L'Institut Paris Region). Cela appelle à mener d'autres travaux qui devront confronter les points de vues entre chercheurs et praticiens, tout en tenant compte de la diversité croissante des méthodologies et des collectivités impliquées dans cette dynamique. Cela nécessiterait, entres autres, un travail approfondi d'entretiens avec tout ou partie des acteurs impliqués dans ces travaux, et demande à regarder finement les cahiers des charges des études de métabolisme territorial lorsqu'elles relèvent d'une commande publique.

L'hypothèse que l'on peut formuler ici est que la question des buts de départ du commanditaire, mais aussi du prestataire, n'est pas anodine. Les objectifs et motivations initiaux, les compétences du commanditaire dans l'architecture institutionnelle française et la manière dont ont été conduites les études de métabolisme territorial ne déterminent-elles en grande partie l'usage qui en sera fait et leur devenir dans le passage à l'action des territoires ? Or, sur ce plan, force est de constater qu'il existe que peu d'informations sur le devenir et l'usage qui a été fait de ces études une fois publiées. Aucune publication officielle (notamment au niveau national) ne semble aborder cette question. Cela serait aussi intéressant à relier avec les éventuelles critiques qui seraient adressées à ces travaux lors de leur élaboration puis au moment de leur publication.

Au stade auquel le présent rapport est publié, il semblerait que le niveau d'intégration des études de métabolisme territorial dans les politiques au sens large soit inégal (cf. les paroles d'acteurs recueillies lors du recensement ou issues de diverses publications relatives à des études de métabolisme territorial ou à l'économie circulaire ci-après). Plusieurs hypothèses et pistes de travail peuvent être avancées. D'un côté, certains travaux semblent effectivement être utilisés à des fins de diagnostic pour aider les collectivités à orienter leur action ou un ou plusieurs flux du métabolisme. C'est le cas

⁷⁰ A terme, il conviendrait peut-être de revenir sur le périmètre de ce recensement qui est donc loin d'être figé.

sur des territoires pionniers comme la Ville de Paris⁷¹, Plaine Commune, Est Ensemble, la Région Île-de-France, et au-delà de la région francilienne, de régions comme Nouvelle-Aquitaine ou des EPCI comme la Métropole lilloise. Ces territoires ont mis en place des stratégies d'économie circulaire et des actions ou outils dédiés au métabolisme territorial⁷². De l'autre, des études, notamment les plus anciennes, n'ont vraisemblablement été que très peu assimilées et valorisées concrètement dans des stratégies ou projets. Elles semblent relever de travaux susceptibles d'être restés dans la sphère académique, ou diffusés peu largement, et donc parfois méconnus par les acteurs et institutions dont les territoires sont pourtant concernés par ces études.

En ce sens, notre travail avait aussi pour objectif de donner à voir ces nombreux travaux qui produisent une information importante pour la mise en place de politiques ou de programmes visant à mieux les flux de ressources naturelles qui concourent au fonctionnement des espaces. Il est pleinement évolutif et n'est qu'une photographie à un instant précis (année 2021) de la diffusion des études de métabolisme territorial. Les nombreux travaux en cours, l'engagement croissant des collectivités, et les progrès méthodologiques principalement portés par le monde académique feront évoluer cette photographie en fonction de la poursuite de cette diffusion, et surtout, de l'appropriation de cette approche et de ce cadre de réflexion du métabolisme territorial.



Zone industrielle desservie par le Canal du Centre à Chagny. Source : Martial Vialleix

⁷¹ Dont le récent « séminaire Métabolisme urbain » a réuni plusieurs acteurs clés de ces sujets. Voir en ligne sur <https://www.apc-paris.com/actualite/metabolisme-urbain-service-transition-ecologique>, consulté le 3 mai 2021.

⁷² On pense notamment au projet « Métabolisme urbain » de Plaine Commune depuis 2014/2015, ainsi qu'à la plateforme <http://metabolisme.paris.fr/#accueil>, consulté le 15 avril 2021, qui permet de visualiser les flux et stocks du métabolisme parisien. Pour plus d'informations sur ces territoires franciliens pionniers, se reporter à Hemmerding, T. (2020) en bibliographie du rapport.

Paroles d'acteurs recueillies lors du recensement ou issues de diverses publications relatives à des études de métabolisme territorial ou à l'économie circulaire

« Dans un premier temps, l'analyse des flux de matières offre une connaissance plus fine des flux nécessaires au fonctionnement d'un territoire donné, aussi bien en termes de poids par rapport à d'autres flux, qu'en termes d'impact sur l'environnement. Dans un second temps, elle permet d'identifier les axes d'amélioration et ainsi contribuer au déploiement des politiques régionales en faveur de l'économie circulaire⁷³ ».

« Cette première photographie de l'analyse des flux de matières permet une prise de conscience des limites de notre modèle linéaire de développement. Ceci est une étape indispensable pour construire collectivement une stratégie de réduction des consommations de ressources et des rejets dans la biosphère. Il s'agit alors de réinscrire le fonctionnement des sociétés humaines dans celui de la biosphère, en privilégiant un métabolisme circulaire en lieu et place du métabolisme linéaire qui les caractérise aujourd'hui⁷⁴ ».

« L'intérêt c'est d'avoir une méthode partagée, un cadre appliqué de la même façon, afin de pouvoir se comparer entre nous. L'intérêt c'est aussi d'avoir des indicateurs très riches qui permettent de poser les bases pour le pilotage de politiques publiques d'économie circulaire. Jusqu'à là avant l'analyse de flux de matières, ces indicateurs n'étaient pas suivis (besoins matières, dépendance aux importations, recyclage minime au regard des enjeux de prévention...). Il s'agit donc de dégager des grandes tendances, de voir quelles catégories de matières sont présentes, extraites, etc... ». (Entretien avec Sonia Grellier, Chargée d'études Déchets et Economie Circulaire, AREC Nouvelle-Aquitaine).

« On a un problème de données ; la question des échelles m'interpelle. Les analyses de flux de matières restent des exercices très théoriques, peu pragmatiques et peu crédibles pour des acteurs de terrain. Les professionnels des filières n'apprennent pas grand-chose, et au final les institutions non plus. De par leur complexité méthodologique, elles ne sont pas accessibles à tout le monde, demandent un travail important en temps et en argent. La difficulté résulte aussi dans l'explication des chiffres et l'étude ne peut rentrer dans une analyse aussi fine du pourquoi du comment. Toutefois, elles donnent à voir le territoire à un instant T, proposent une vision systémique et ont le mérite de mettre les acteurs autour de la table. » (Entretien avec Nathalie Bellot, Chargée de mission Economie Verte, DREAL Grand-Est).

« L'analyse de flux de matières permet une vision globale et surtout de mettre autour de la table les différents acteurs. Ils découvrent des choses et il y a toujours des surprises. Elle est l'occasion de partager une vision commune et de s'accorder sur les chiffres. Pour moi il est important de partager les résultats, mais aussi que les participants repartent avec le rapport à la suite des ateliers ». (Entretien avec Cassandre Guntz, Chef de projet Ecologie Industrielle Territoriale, CEREMA Normandie-Centre).

« Ces conclusions, emblématiques d'un mode de développement linéaire, ne sont pas véritablement surprenantes au vu des habitudes de consommation et de la globalisation à l'œuvre dans notre société depuis plusieurs décennies. Pour autant,

⁷³ Sources : « Analyse de flux de matières. Note méthodologique ». Agence Régionale d'Evaluation Environnement et Climat. Version du 12/12/2019. 27p. En ligne sur https://www.arec-nouvelleaquitaine.com/wp-content/uploads/2020/02/2019-12-12-Note_Methodologique_Analyse_Flux_de_Matieres.pdf, consulté le 21 janvier 2021.

⁷⁴ Sources : Alterre Bourgogne (2013). « La Bourgogne comptabilise ses flux de matières », Repères n°64. 12 p. En ligne sur <http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/la-bourgogne-comptabilise-ses-flux-de-matieres-a5642.html>, consulté le 4 mars 2021.

dans un contexte de raréfaction et tensions probables, ces constats appellent au développement d'une gestion plus circulaire des ressources⁷⁵ ».

« L'analyse de flux de matières c'est quelque chose d'assez lourd en termes de travail, bien qu'on puisse la suivre point par point car elle est bien guidée. Il faut prévoir du temps pour cela. Les indicateurs de ces études sont très riches, mais parfois difficilement appropriables ». (Entretien avec Sonia Grellier, Chargée d'études Déchets et Economie Circulaire, AREC nouvelle Aquitaine).

« L'aspect flux de matières et consommation (importées/exportées notamment) intéresse la Métro actuellement pour aller au-delà de l'approche cadastrale du Plan climat. Il y a une volonté politique de travailler sur ce sujet car il est vu comme un levier d'interpellation du public sur la lutte contre le changement climatique, dans la perspective d'associer la population aux efforts de la collectivité en mettant de l'information à disposition du public (sur le sujet de l'alimentation par exemple). Cependant, le sujet est difficile à appréhender et la collectivité se sent démunie sur le plan méthodologique⁷⁶ ».

« Au-delà des objectifs fixés par le PRPGD aux horizons 2025 et 2031, il est nécessaire de passer de la gestion des déchets à une économie des ressources. L'étude du métabolisme régional a mis en lumière l'importante consommation de ressources de l'Île-de-France, dont la majorité provient d'autres territoires, et cette consommation est élevée au regard de la production de déchets⁷⁷ ».

« Il reste à ce jour difficile d'établir un diagnostic précis sur les consommations de ressources d'un territoire et les enjeux environnementaux et économiques associés. Des indicateurs de suivi sur la production et valorisation des déchets peuvent être calculés, mais l'entrée par les ressources consommées reste peu documentée. Pour pallier ce manque, des analyses des flux ont été réalisées ou sont en cours dans certaines métropoles françaises pour mieux comprendre la réalité des flux sur le territoire. On parle alors d'analyse de métabolisme territorial. Cependant, ces études se heurtent à des freins :

- L'absence de cadre méthodologique de référence [...]

- La difficulté à collecter des données et des statistiques sur les flux, et en particulier sur les flux entrants, et l'absence de règles d'extrapolations homogènes. Il apparaît ainsi que ces outils d'analyse des flux, bien qu'indispensables pour définir et piloter des scénarios d'actions adaptés aux enjeux planétaires, ne sont pas facilement utilisables par les collectivités et les entreprises. De plus, l'hétérogénéité des méthodes de calcul ne permet pas de comparer les résultats des politiques mises en œuvre par différents acteurs⁷⁸ ».

⁷⁵ Sources : Sage, E. (2016). « Comment faire mieux avec moins ? Une étude du métabolisme urbain du territoire de Plaine Commune ». Carbone 4 / Atelier Act Urba / Quattrolibri / Plaine Commune. 6p. En ligne sur <http://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2016/09/article-elisabeth.pdf>, consulté le 6 mai 2021.

⁷⁶ Sources : « Economie circulaire et collectivités. Etudes de cas. Communauté de communes du Pays de Saint-Flour-Margeride – Grenoble Alpes Métropole – Chambéry Métropole ». AURA-EE / Région Auvergne-Rhône-Alpes. 2017. p. 25. En ligne sur https://www.auvergnetherhonealpes-ee.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/raee/Documents/Publications/2017/Rapport_Eco_Circulaire_Etudes_de_cas_oct2017.pdf, consulté le 29 avril 2021.

⁷⁷ Sources : Stratégie Régionale en faveur de l'Economie Circulaire (SREC). Région Île-de-France, septembre 2020, p. 30 en ligne sur <https://www.iledefrance.fr/strategie-regionale-en-faveur-de-leconomie-circulaire-srec>, consulté le 28 avril 2021.

⁷⁸ Sources : « Mettre les territoires au service de l'économie circulaire. Pour une sobriété et une symbiose territoriale ». La Fabrique Ecologique. Note n° 40. Octobre 2020. 43p. En ligne sur <https://www.lafabriqueecologique.fr/mettre-les-territoires-au-service-de-leconomie-circulaire/>, consulté le 5 mai 2021.

Références bibliographiques

Arnsperger, Christian, et Bourg, Dominique, « Vers une économie authentiquement circulaire. Réflexions sur les fondements d'un indicateur de circularité », *Revue de l'OFCE*, 2016/1, n° 145, p. 91-125. Consulter en ligne : <https://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/revue/6-145>

Augiseau, Vincent. « La dimension matérielle de l'urbanisation : Flux et stocks de matériaux de construction en Île-de-France », thèse sous la direction de Sabine Barles, Paris I Panthéon-Sorbonne, 2017, 554 p.

Augiseau, Vincent, et Eunhye Kim. "Spatial characterization of construction material stocks: the case of the Paris region." *Resources, Conservation and Recycling*, n°170, (2021): 105512.

Baccini, Peter. et Brunner, P.H. *Metabolism of the Anthroposphere*. Springer-Verlag, (1991). 169p.

Barles, Sabine. "Écologie territoriale et métabolisme urbain: quelques enjeux de la transition socioécologique." *Revue d'Economie Regionale Urbaine* 5, (2017): 819-836.

Barles, Sabine, et Jean-Baptiste Bahers. "Transition ou consolidation du régime dominant: le métabolisme urbain en question." *Flux* 2, (2019): 1-5.

Barles, Sabine. "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 (2014).

Beloin-Saint-Pierre, Didier, et al. "A review of urban metabolism studies to identify key methodological choices for future harmonization and implementation." *Journal of Cleaner Production*, n° 163 (2017): S223-S240.

Buclet, Nicolas, *Essai d'écologie territoriale – L'exemple d'Aussois en Savoie*, Paris, CNRS Editions, 2015, 216 p.

Carrière, Jean-Paul. "La région, une échelle pertinente pour la «mise en territoire» de l'économie circulaire? Réflexions à partir du cas français." *Lucrările Seminarului Geografic "Dimitrie Cantemir"* n°46.1 (2018): 3-22.

Cordeau, Erwan, Nascimento, Iuli. « L'empreinte écologique des habitants de la région Île-de-France, première approche », étude, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France (IAURIF), calculs réalisés par la société Empreinte écologique SARL, juin 2005, 66 p.

Duret, Benoît, Mat, Nicolas., Bonard, Amélie., Dastrevigne, Emilie., & Lafragette, Amélie. "Ecologie territoriale: Une aide à la définition d'une politique énergétique. Comprendre l'économie physique du territoire." *Les annales de la recherche urbaine*. Vol. 103. No. 1, 2007, p. 73-78

Fernandez Mathieu, Blanquart Corinne et Verdeil Eric, « La terre et le béton : le projet d'urbanisme considéré sous l'angle du métabolisme territorial », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 18 Numéro 3 | décembre 2018, mis en ligne le 05 décembre 2018.

Fernandez Mathieu, Blanquart Corinne, Niérat Patrick et Verdeil Eric., « Renouvellement urbain et optimisation du métabolisme : une équation complexe », *Flux*, 2019/2-3 (N° 116-117), p. 58-73. DOI : 10.3917/flux1.116.0058. URL : <https://www.cairn.info/revue-flux-2019-2-page-58.htm>

Georgeault, Laurent. *Le potentiel d'écologie industrielle en France : approche territoriale et éléments de réalisation*. Thèse de doctorat. Université Panthéon-Sorbonne-Paris I. (2015). 403 p.

Goldstein, Benjamin, et al. "Surveying the environmental footprint of urban food consumption." *Journal of Industrial Ecology*, n°21.1 (2017): 151-165.

Hemmerdinger Thomas., « Pour des territoires sobres en ressources et circulaires, enseignements, recommandations », étude, L'Institut Paris Region / AREC, 2020

Hemmerdinger Thomas., Lacombe Florian., Lopez Cristina., Vialleix Martial., « L'Île-de-France face au défi de l'économie circulaire », Note rapide environnement n°804, L'Institut Paris Region, 2019

Iablouonovski, Guilherme, et Sabine Bognon. "Efficacité matérielle et performance écologique des territoires: analyse croisée de 67 métabolismes." *Flux* 2, p.6-25.

Kennedy, Christopher, Stephanie Pincetl, and Paul Bunje. "The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design." *Environmental pollution*, n° 159.8-9 (2011): 1965-1973.

Kennedy, Christopher et Hoornweg, Daniel. "Mainstreaming urban metabolism", *Journal of Industrial Ecology*, (2012), vol. 16, no 6, p. 780-782.

Mariasine, Léo. et Hemmerdinger, Thomas. « Observation des ressources en Île-de-France. Mission de préfiguration 2019-2021 ». Tome 1 Proposition d'une méthodologie. Institut Paris Region, avec le soutien de l'ADEME, (2021), 66p.

Morris, Audrey. "L'analyse de flux de matières au Québec: méthodes et enjeux d'opérationnalisation dans une perspective d'économie circulaire." M. Env. – IMEDD - Sous la direction de Monsieur Manuele Margni. Université de Sherbrooke, (2016), En ligne sur <https://core.ac.uk/download/pdf/51340959.pdf>

Musango, Josephine Kaviti, Currie, Paul, et Robinson, Blake "Urban metabolism for resource-efficient cities: From theory to implementation". *UN Environment*. (2017).

Obernosterer, Richard, et al. "Urban metabolism the city of Vienna." Materials accounting as a tool for decision-making in environmental policy. 4th European Commission Programme for Environment and Climate. Institute of Water Quality and Waste management. Vienna University of Technology, Vienna (1998).

Oliveira, Vitor, et Rita Vaz. "Is the concept of urban metabolism useful for planning practice?." *European Planning Studies*, n° 29.3 (2021): 411-424.

Pina, André, et al. "The physical structure of urban economies—Comparative assessment." *Technological Forecasting and Social Change*, n° 113 (2016): 220-229.

Pruvost-Bouvattier Manuel, Vialleix Martial, Joveniaux Aurélie et Esculier Fabien, « Valoriser l'azote et le phosphore des urines pour une meilleure sécurité écologique et alimentaire », Note rapide environnement n°858, L'Institut Paris Region, 2020

Repellin, Pascale, Barles Sabine, Duret Benoit, « Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements ». Guide méthodologique, Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie, (2014), 112p. En ligne sur <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/EIT%20-%20comptabilite%20des%20flux%20de%20matieres.pdf> , consulté le 5 mars 2021

Ribon Benoit, Badariotti Dominique et Kahn René, « Fondements des analyses de flux de matières et d'énergie et typologies d'applications pour la gouvernance des territoires et des organisations », *VertigO, la revue électronique en sciences de l'environnement*, 18, 2018, paragraphe 68. URL : <https://journals.openedition.org/vertigo/20866>.

Steurer, A., et H. Schütz. "Economy wide Material Flow Accounts and Balances with derived Resource Use Indicator, a Methodological Guide." Brussels: Eurostat (2000).

Vialleix Martial et Mariasine Léo, « Vers une approche métabolique des espaces urbains », Note rapide environnement n°823, L'Institut Paris Region, 2019

Acronymes

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AFM : Analyse de flux de matières (et d'énergie)

ANR : Agence Nationale de la Recherche

AREC : Agence Régionale de l'Energie et du Climat

AREC Îdf : Agence Régionale de l'Energie et du Climat, département énergie-climat de L'Institut Paris Region

AUDAP : Agence d'urbanisme des Pyrénées Atlantiques

AURA-EE : Auvergne-Rhône-Alpes Energie Environnement

BDREP : Base de Données du Registre des Emissions Polluantes

BRGM : Bureau des Recherches Géologiques et Minières

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CCI : Chambre de Commerce et d'Industrie

CERC IDF : Cellule Economique Régionale pour la Construction de l'Île-de-France

CGDD : Commissariat Général au Développement Durable

CEREMA : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

CODREC : Contrat d'Objectifs pour une Dynamique Régionale déchets et Economie Circulaire

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DRIAAF : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

DRIEA IDF : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Equipement et de l'Aménagement d'Île-de-France

DRIEAT : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement et des Transports d'Île-de-France, créée officiellement le 01/04/2021 par fusion de la DRIEA et de la DRIEE.

DRIEE : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

EPT : Etablissement Public Territorial

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

IGN : Institut Géographique National

INEC : Institut National de l'Economie Circulaire

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

IRP : International Resource Panel, Groupe international d'experts sur les ressources

LTECV : Loi Relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte

MGP : Métropole du Grand Paris

ORDIF : Observatoire Régional des Déchets d'Ile-de-France, département déchets de L'Institut Paris Region

ORS IDF : Observatoire Régional de Santé d'Île-De-France, département santé de L'Institut Paris Region

PCAET : Plan Climat-Air-Energie Territorial

POPSU : Plateforme d'Observation des Projets et Stratégies Urbaines

PRPGD : Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets

RARE : Réseau des Agences Régionales de l'Energie et de environnement

ROSE : Réseau d'Observation Statistique de l'Energie et des GES associés

SitraM : Système d'information sur les transports de marchandises

SOeS / SDES : Service de l'observation et des statistiques

SRADDET ; Schéma Régional d'Aménagement et de Développement durable et d'Equilibre des Territoires

SRCAE : Schéma Régional Climat Air Energie

UNICEM : Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction

Annexe – liste des études de métabolisme territorial en France au 1^{er} janvier 2021

Echelle	Nom	Date livraison	Méthode	Date référence	Démarche	Commanditaire	Prestataire(s) / auteur(s)
Region	Île-de-France	2007	Analyse de flux - Eurostat	2003	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Commune	Paris	2007	Analyse de flux - Eurostat	2003	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Commune	Lille	2007	Analyse de flux - Eurostat	2005	Etude	EPCI-EPT ou commune	Groupe bureau d'études - entreprise - collectivité
Region	Midi-Pyrénées	2011	Analyse de flux - Eurostat	2006	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
SCoT	Ouest Etang de Berre	2012	Analyse de flux - Eurostat adaptée	Différentes selon flux	Recherche-action	Travail de recherche académique	Groupe bureau d'études - université(s)
SCoT	Havre Pointe de Caux Estuaire + Pays des Hautes Falaises	2012	Analyse de flux - Eurostat adaptée	Différentes selon flux	Recherche-action	Travail de recherche académique	Groupe bureau d'études - université(s)
Commune	Orléans	2012	Estimation flux et stocks - matériaux de construction	2004 / 2006	Recherche	Travail de recherche académique	Groupe organismes publics

Commune	Paris	2013	Analyse de flux - Eurostat adaptée / bilan énergétique	1801 / 2006	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Region	Bourgogne	2013	Analyse de flux - Eurostat	2010	Etude	Association ou organisme public	Groupement bureau d'études - université et association
Département	Loire-Atlantique	2014	Analyse de flux - Eurostat	2006	Recherche-action	DREAL/DEAL ou autre instance ministérielle	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Département	Hautes-Pyrénées	2014	Analyse de flux - Eurostat	2006	Recherche-action	DREAL/DEAL ou autre instance ministérielle	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
EPCI	Plaine Commune	2014	Analyse de flux - Eurostat	2012	Etude	EPCI-EPT ou commune	Bureau(x) d'études
Region	Alsace	2015	Analyse de flux - Eurostat	2012	Etude	Region et ADEME	Groupement association et bureaux d'études
Region	Bretagne	2015	Analyse de flux - Eurostat	2011	Recherche-action	Region	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Region	Île-de-France	2015	Analyse de flux - Eurostat	2010	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Commune	Aussois	2015	Bilan énergétique		Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Département	Rhône	2016	Modèle d'analyse de Pina & al. (2015)	2011	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Département	Nord	2016	Modèle d'analyse de Pina & al. (2015)	2011	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche

Region	Aquitaine	2016	Analyse de flux - Eurostat	2013	Etude	Association ou organisme public	Association ou organisme public
Region	Bretagne	2016	Analyse de flux - Eurostat	2013	Etude	Association ou organisme public	Association ou organisme public
Region	Haute-Normandie	2016	Analyse de flux - Eurostat	2013	Etude	Association ou organisme public	Association ou organisme public
Region	Rhône-Alpes	2016	Analyse de flux - Eurostat	2013	Etude	Association ou organisme public	Association ou organisme public
Region	Lorraine	2016	Analyse de flux - Eurostat	2012	Etude	DREAL/DEAL ou autre instance ministérielle	Groupeement association et bureaux d'études
Département outre-mer	La Réunion	2016	Analyse de flux - Eurostat	2014	Etude	Association ou organisme public	Bureau(x) d'études
Syndicat	SIETREM	2016	Analyse de flux - Méthode Baccini	2012	Recherche-action	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
EPCI	Rennes Métropole	2016	Analyse de flux - Méthode Baccini	2012	Recherche-action	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
EPCI	Le Mans Métropole	2016	Analyse de flux - Méthode Baccini	2012	Recherche-action	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Region	Île-de-France	2017	Estimation flux et stocks - matériaux de construction	2013	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche

Region	Centre-Val de Loire	2017	Analyse de flux - Eurostat	2014	Etude	DREAL/DEAL ou autre instance ministérielle	Association ou organisme public
EPCI	Cœur d'Essonne Agglomération	2017	Analyse de flux - Eurostat	2014	Etude	EPCI-EPT ou commune	Bureau(x) d'études
EPCI	Métropole de Lyon	2017	Empreinte matérielle importations	2015	Etude	EPCI-EPT ou commune	Bureau(x) d'études
EPCI	Métropole de Nantes	2017	Analyse de flux - Eurostat	2012	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Region	Île-de-France	2018	Analyse de flux - Eurostat	2015	Recherche-action	Region	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Region	Auvergne Rhône-Alpes	2018	Analyse de flux - Eurostat partielle	2014 / 2015	Etude	Region	Bureau(x) d'études
Département outre-mer	Martinique	2018	Analyse de flux - Eurostat	2015	Etude	DREAL/DEAL ou autre instance ministérielle	Association ou organisme public
EPCI	Le Mans Métropole	2019	Analyse de flux - Eurostat adaptée	2012	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
EPCI	Rennes Métropole	2019	Analyse de flux - Eurostat adaptée	2012	Recherche	Travail de recherche académique	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
EPCI	Est Ensemble	2019	Estimation flux et stocks - matériaux de construction	Prospective	Etude	EPCI-EPT ou commune	Bureau(x) d'études
EPCI	Métropole Européenne de Lille	2019	Analyse de flux - Eurostat adaptée	Différentes selon flux	Recherche-action	Association ou organisme public	Université(s)/laboratoire(s) de recherche
Region	Nouvelle Aquitaine	2019	Analyse de flux - Eurostat	2017	Etude	ORDEC - Region - ADEME	Association ou organisme public

Region	Pays de la Loire	2019	Analyse de flux - Eurostat partielle	2014	Etude	Region	Bureau(x) d'études
Region	Occitanie	2019	Analyse de flux - Eurostat partielle		Etude	Region	Bureau(x) d'études
Commune	Paris	2020	Analyse de flux - Eurostat / estimation flux et stocks - matériaux de construction	2015	Etude	EPCI-EPT ou commune	Bureau(x) d'études
EPCI	Angers Loire Métropole	2020	Analyse de flux - Eurostat	2018	Etude	EPCI-EPT ou commune	Bureau(x) d'études



L'INSTITUT PARIS REGION
ASSOCIATION LOI 1901.

15, RUE FALGUIÈRE - 75740 PARIS CEDEX 15 - TÉL. : 01 77 49 77 49