

Séminaire BETTER
INRAE
20/06/2023

Métabolisme urbain pour le BTP : des modèles aux pratiques

Emmanuelle Moesch



Université
Gustave Eiffel

I. Enjeux environnementaux du secteur des Bâtiments et Travaux Publics : l'économie circulaire, un modèle alternatif ?

II. Quels modèles mobilisés par les territoires pour leur transition vers l'économie circulaire ?

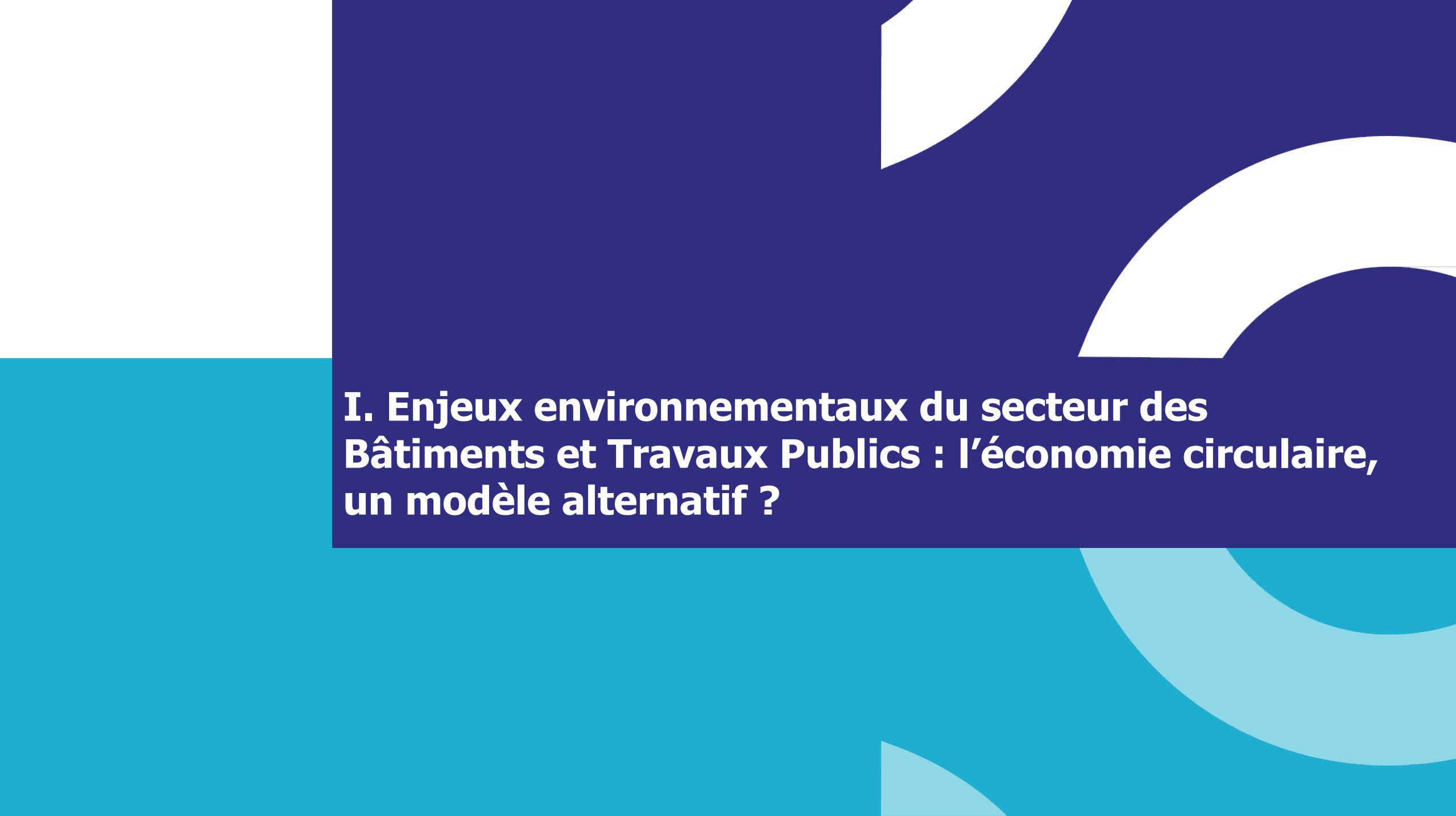
Indicateurs

Etudes de métabolisme urbain

III. Les flux dans leurs territoires : intégrer une approche logistique

Echelle du chantier

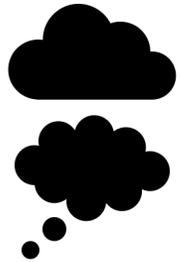
Echelle du territoire



I. Enjeux environnementaux du secteur des Bâtiments et Travaux Publics : l'économie circulaire, un modèle alternatif ?

Impacts environnementaux du secteur du BTP

France



30%

des émissions de
GES



49%

des matières
mobilisées



70%

des déchets



13 000

hectares
artificialisés

Production et traitement des déchets

France

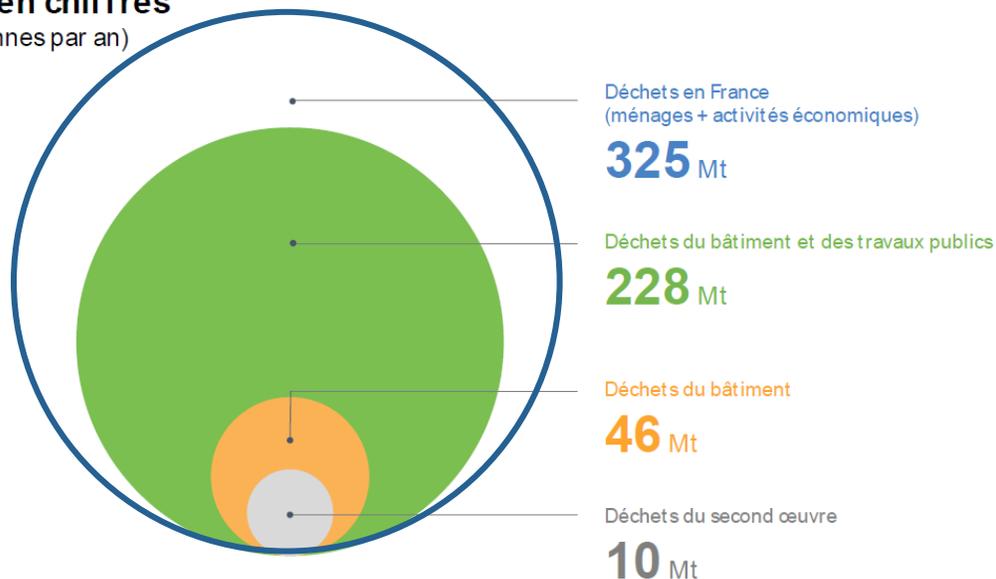
70% des déchets



70% « valorisés », dont 15% remblai de carrière

Les déchets en chiffres

(en millions de tonnes par an)

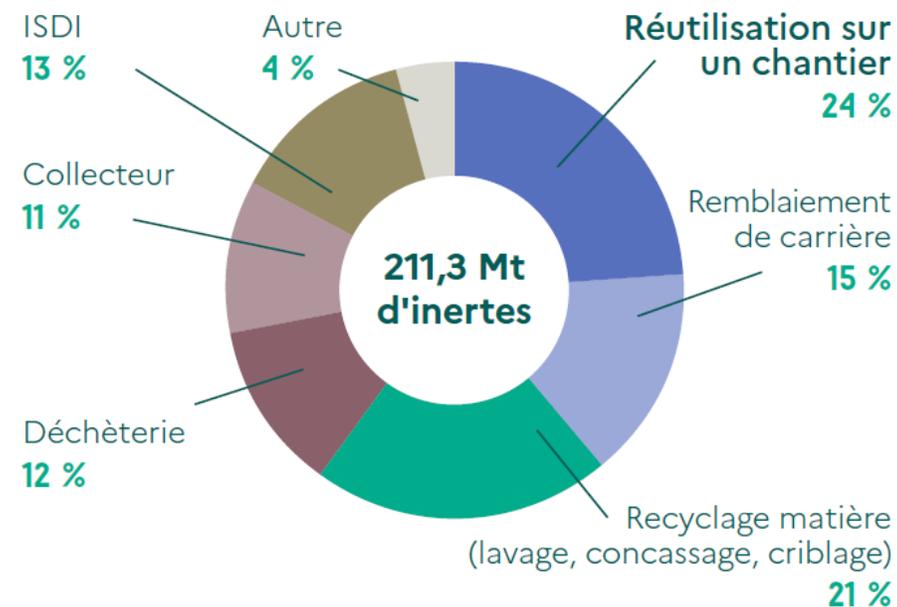


Source : FFB

Diagram : INEC 2020

> Le secteur du bâtiment et travaux publics

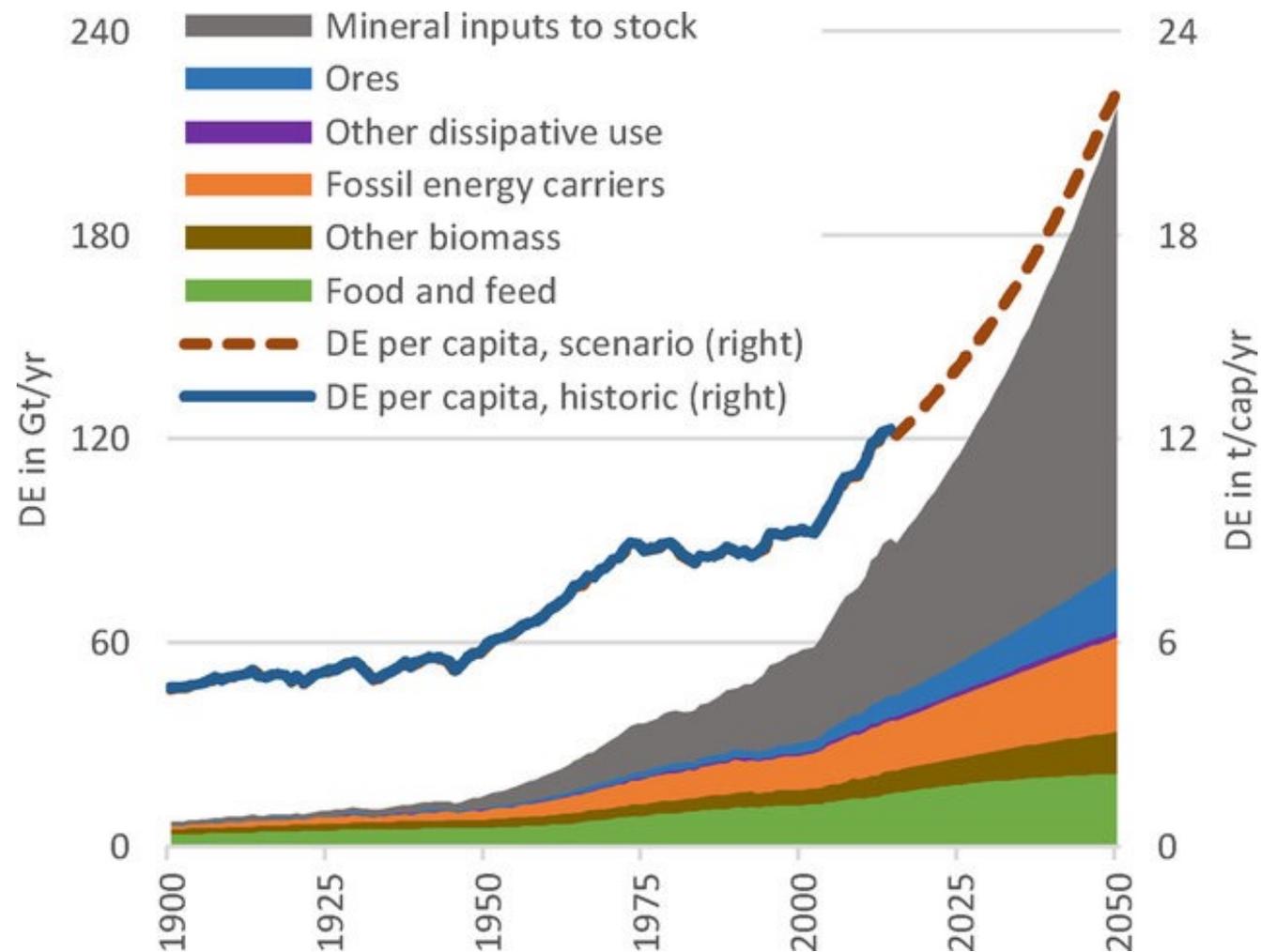
Figure 39. Première destination des déchets inertes du BTP en 2014



Source : SDES – Datalab n° 96, Entreprises du BTP : 2275 millions de tonnes de déchets en 2014, mars 2017

Premier poste d'extraction de ressources naturelles

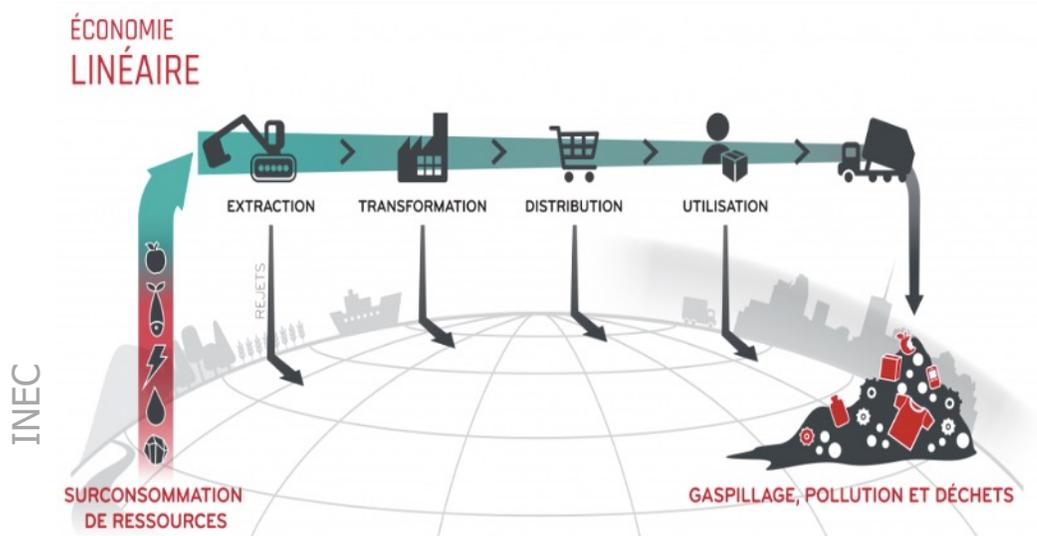
Monde



Krausmann et. Al 2018 Global convergence scenario of global material extraction in Gt/yr by main material groups (left axis) and in t/cap/yr (right axis).

L'économie circulaire, un modèle alternatif ?

Modèle linéaire



30%
des émissions de
GES

49%
des matières
mobilisées

70%
des déchets

Modèle circulaire

L'économie circulaire
3 domaines, 7 piliers

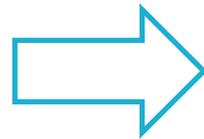


L'économie circulaire, un modèle alternatif ?

De la recherche, aux « laboratoires d'idées »

Ecologie industrielle
et territoriale

Jobs for tomorrow
(Stahel & Reday 1976)



Institut National
de l'Économie
Circulaire



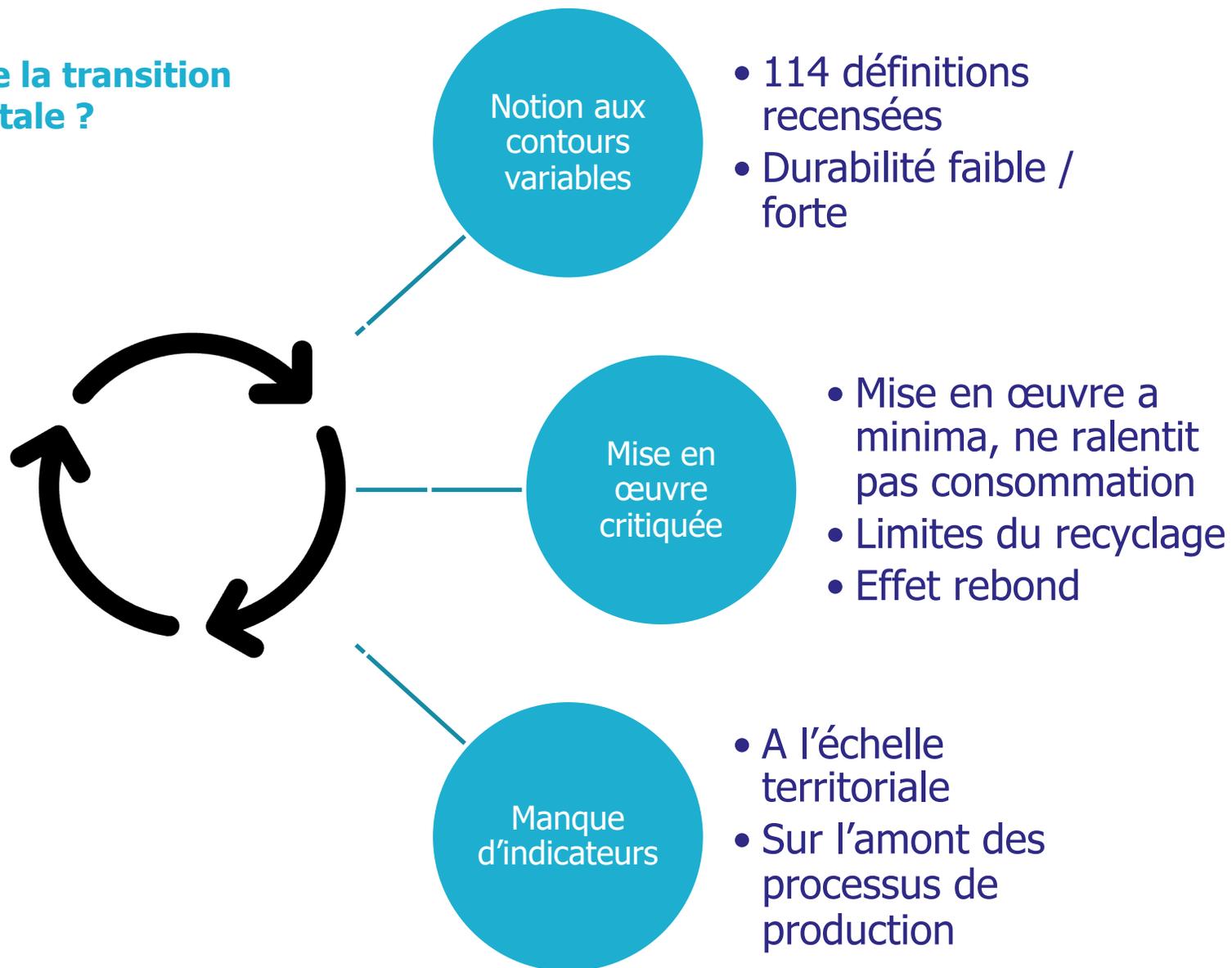
L'économie circulaire, un modèle alternatif ?

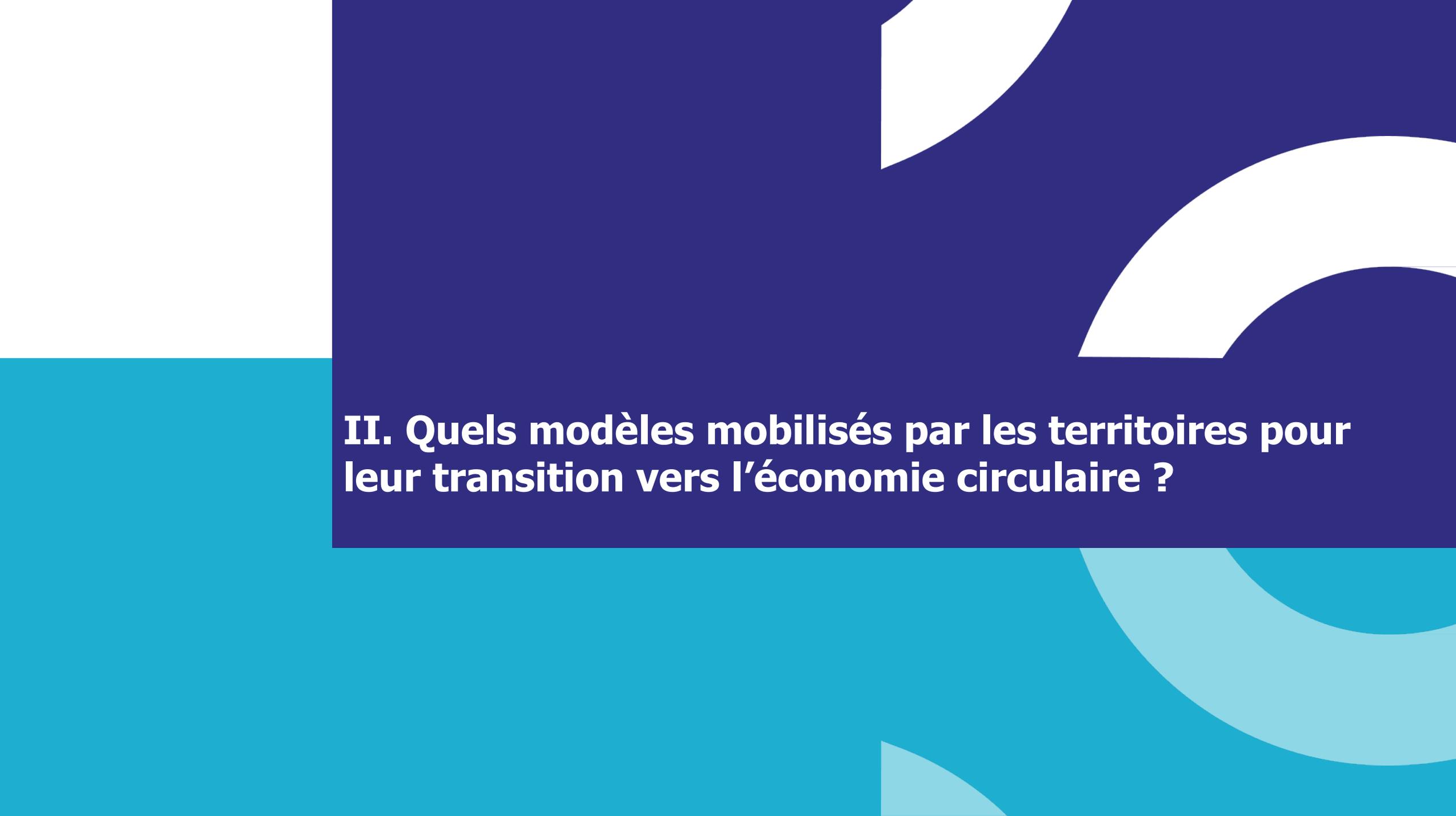
aux politiques publiques



L'économie circulaire, un modèle alternatif ?

... en faveur de la transition
environnementale ?





II. Quels modèles mobilisés par les territoires pour leur transition vers l'économie circulaire ?

Politiques publiques locales d'économie circulaire

Importance croissante en France :

- 15/18 Régions dotées d'un PRAEC, 4 d'une Feuille de Route EC (FREC)
- 23 villes et métropoles engagés (France Urbaine), 45 territoires labellisé ADEME

Etude transversale de 29 collectivités communes/EPCI/Métropoles actives portant des actions d'économie circulaire :

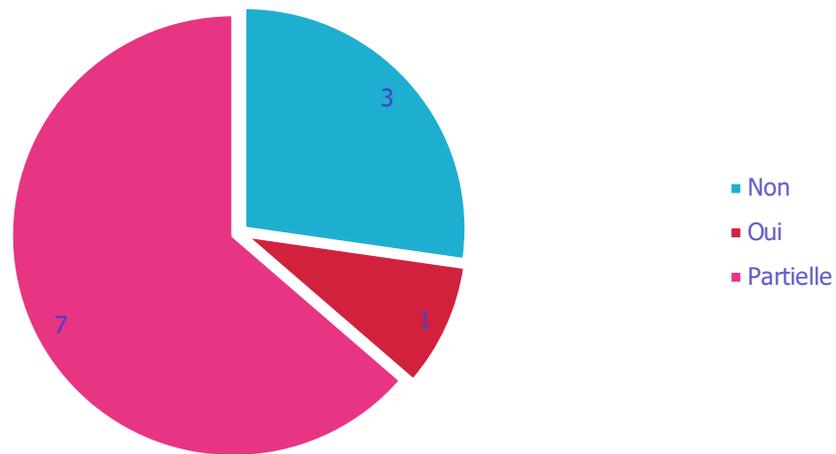
- 20 portent des actions sur le BTP
- 9 ont réalisé des études de métabolisme urbain (MU, études des flux)
- 1 seule présente un panel complet d'indicateurs EC

Indicateurs

Indicateurs pour les territoires (villes, EPCI, syndicats)

D'un usage restreint et hétérogène à la généralisation d'un panel commun ?

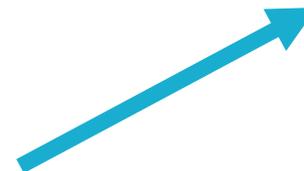
Enquête (2021)
Présence d'un panel d'indicateurs EC



2023 : 75 collectivités labélisées



- Indicateurs obligatoires (déchets)
- Indicateurs « d'engagement »
- Autres indicateurs (sectoriels)

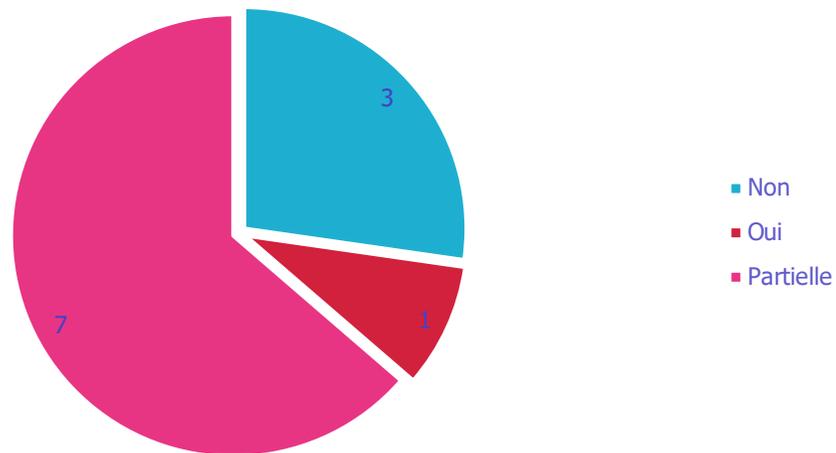


Indicateurs pour les territoires (villes, EPCI, syndicats)

D'un usage restreint et hétérogène à la généralisation d'un panel commun ?

Enquête (2021)

Présence d'un panel d'indicateurs EC



- Indicateurs obligatoires (déchets)
- Indicateurs « d'engagement »
- Autres indicateurs (sectoriels)

2023 : 75 collectivités labélisées

L'économie circulaire
3 domaines, 7 piliers



=> le modèle ADEME

Indicateurs pour les territoires : visions institutionnelles

Tableau de bord ADEME

Piliers de l'EC (ADEME)

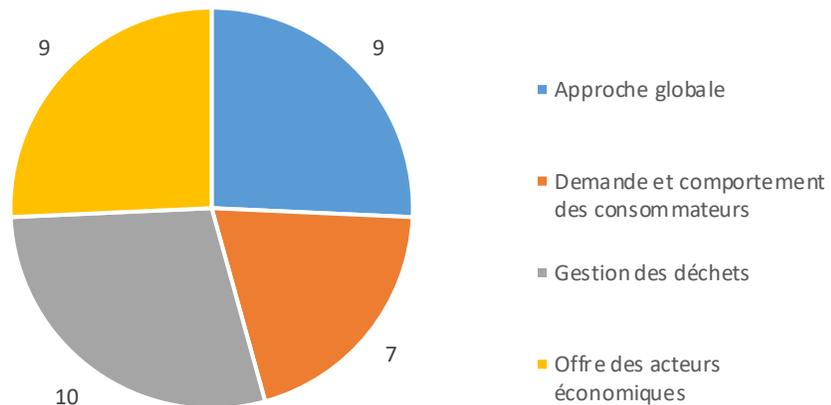
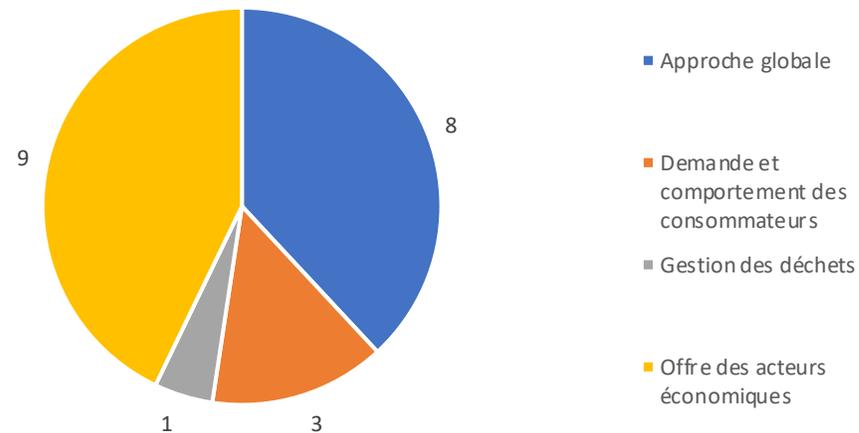
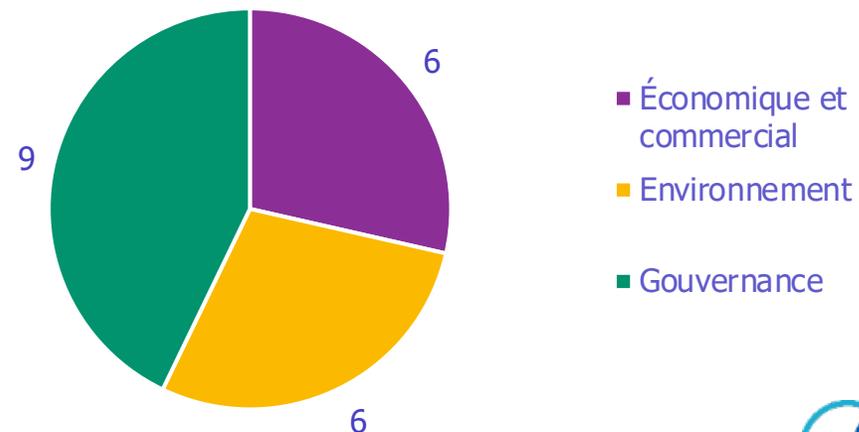
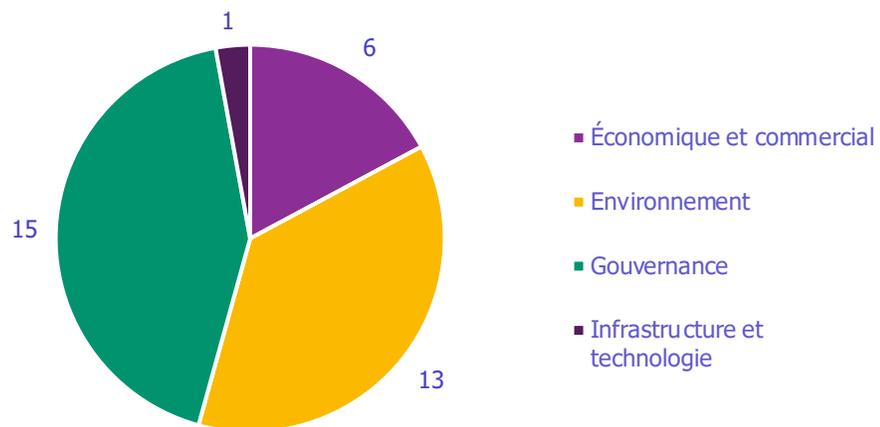


Tableau de bord OCDE



Catégorie OCDE

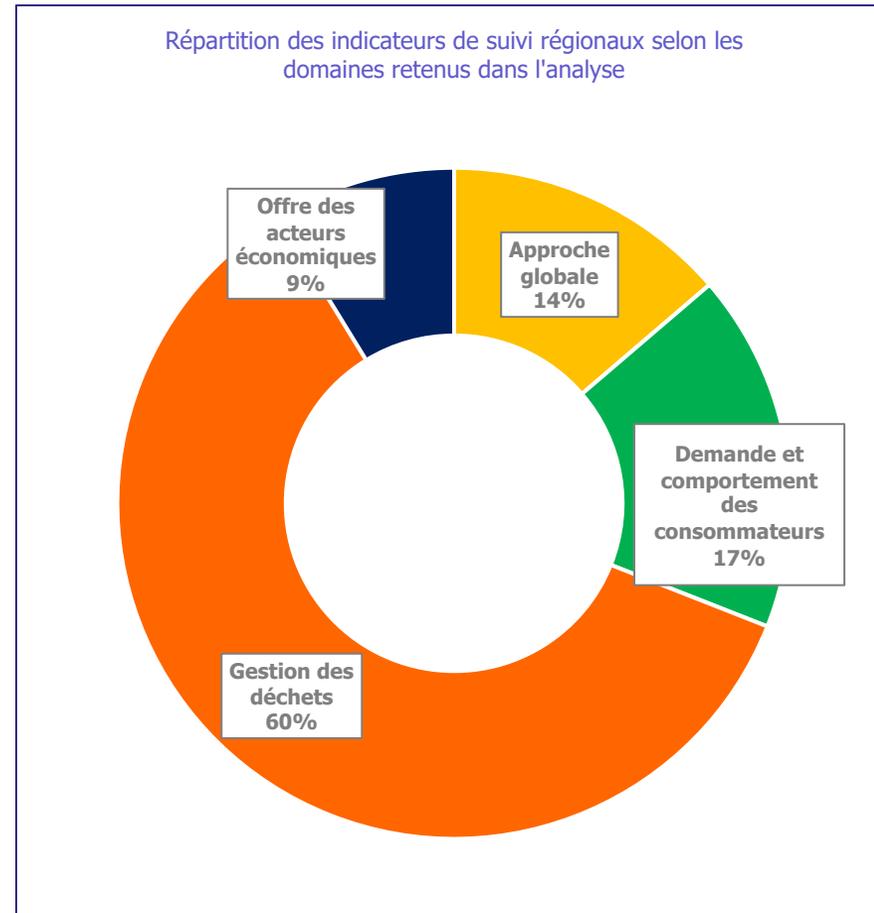


Indicateurs Régionaux issus des PRPGD

Plans Régionaux de Prévention et Gestion des Déchets

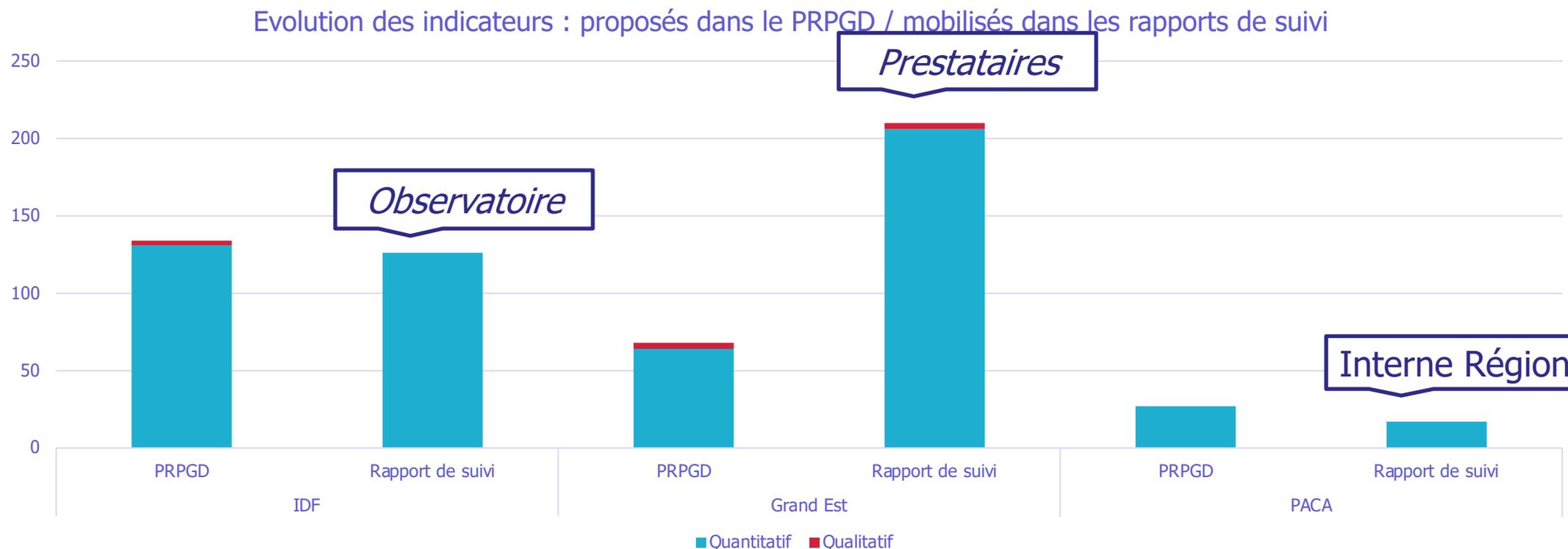
1005 indicateurs recensés pour 15 Régions

- Disparité (nombre, classification, formulation)
- Domination de la gestion des déchets
- Faible part du domaine "offre des acteurs économiques"



Rapports de suivi : quelle mobilisation des indicateurs ?

Focus sur les Régions Grand-Est, Île-de-France et PACA



- Accentuation de la domination des déchets / de l'environnement
- Diminution de la part des indicateurs non sectoriels (économie circulaire) et des indicateurs de gouvernance

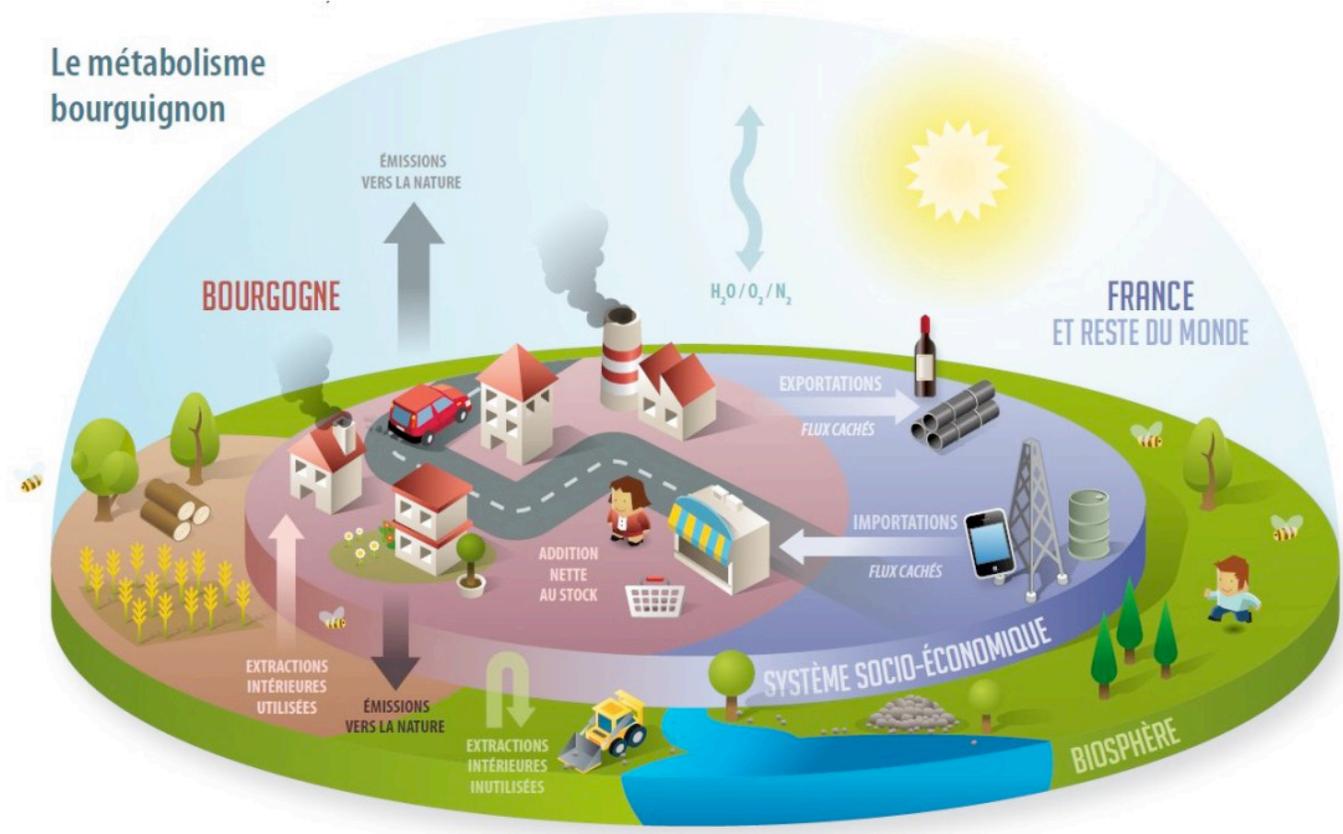


Etudes de métabolisme urbain

Etudier le « métabolisme » des villes

« L'ensemble des flux d'énergie et de matières mis en jeu par le fonctionnement d'un territoire donné »

(Barles, 2017)



En France : une approche par l'analyse des flux de matière

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



Territoire concerné par une étude entre 2016 et 2020

- Commune
- Intercommunalité
- Département
- Région, après fusion de 2016
- Région, avant fusion de 2016

- 1 - Cœur d'Essonne Agglomération
- 2 - CU le Mans Métropole
- 3 - Est Ensemble
- 4 - Métropole de Lyon
- 5 - Métropole Européenne de Lille
- 6 - Métropole de Nantes
- 7 - Rennes Métropole
- 8 - Paris
- 9 - SIETREM de Lagny-sur-Marne
- 10 - CA Angers Loire Métropole

Territoire doté d'une étude avant 2016*

- Commune, Intercommunalité ou SCot
- Département ou Région

* se référer aux cartes présentant la situation antérieure.

N 0 100 km

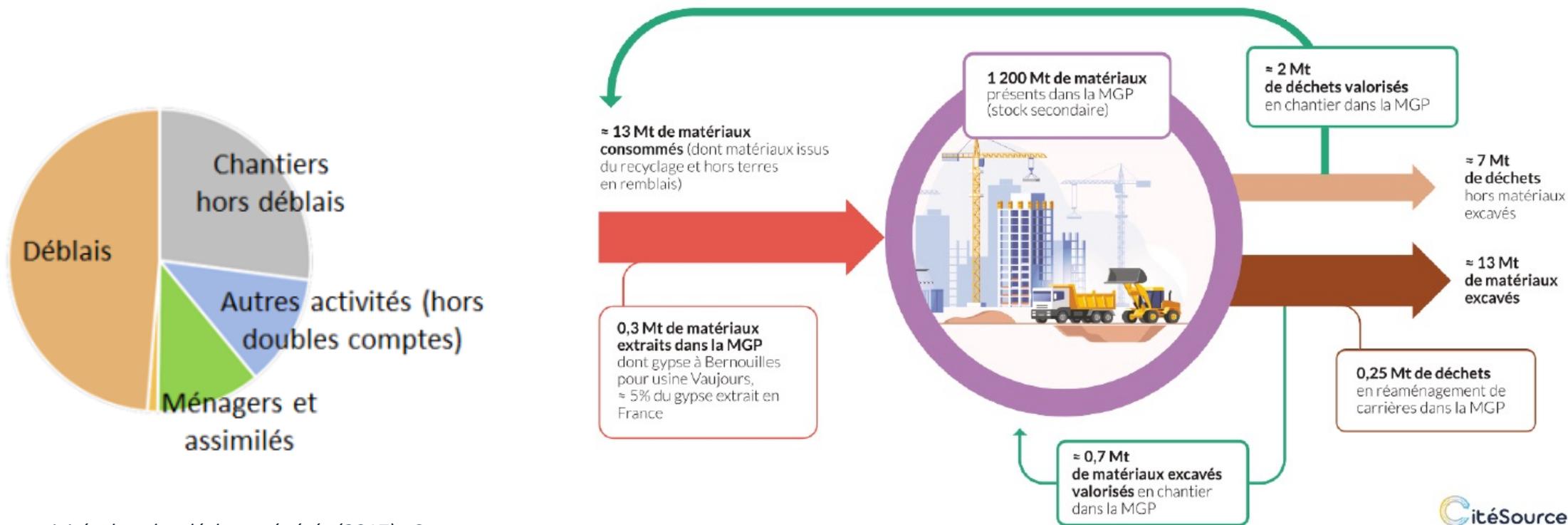


© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021
Source : L'Institut Paris region

- 40 études menées en France (Vialleix 2021)
- Région Parisienne : 9 études de MU dans 6 collectivités → Analyse de Flux de Matière

L'analyse de flux matière : objectiver les flux du territoire

Un outil de politique publique



Parts des activités dans les déchets générés (2017) - Source CitéSource d'après données ORDIF, PRPGD, SINOE, SYDEREP, SIAAP

Figure 2.1. Flux de matériaux de construction et déchets de chantiers de la métropole en 2017 (Mt).
Source : modélisations de CitéSource

L'analyse de flux matière : « objectiver » les flux du territoire ?

Analyse des enquêtes de métabolisme urbain en Île-de-France

- Limites techniques (données, représentation, temporalité)
- Limites de l'approche :

Critiques des approches AFM	Application aux études de métabolisme dans les collectivités
Approche techno-managériale	Solutions dans le bouclage des flux, avec innovations techniques ou organisationnelles (« plateformes »)
«Boîte noire »	Partielle - Connaissance / consultation des acteurs (Plaine Commune, MGP)
Prise en compte de l'hinterland	« Importations » : pas de traçage de l'origine
Espace a-politique	Espace urbain et son renouvellement comme donnée (mais évocation de sobriété). Relation entre acteurs neutres.

(Swyngedouw 2006, Smith and Katz, 1993, Harvey 1997)

Quelle logistique pour l'économie circulaire dans le BTP ?

- Echelle de l'entreprise : concentration sur la « reverse logistics »
 - **optimisation à l'échelle d'un acteur**
 - **n'intègre pas les impacts à échelle territoriale**
 - **secteur du BTP quasi-absent (Vargas et al. 2021)**

→ Dans quelle mesure les pratiques d'économie circulaire réorganisent les supply-chain du BTP, et quels gains/impacts environnementaux peuvent en résulter ?



III. Les flux dans leurs territoires : intégrer une approche logistique

Echelle du chantier

Evaluation du métabolisme urbain, échelle du projet d'aménagement

Méthodologie

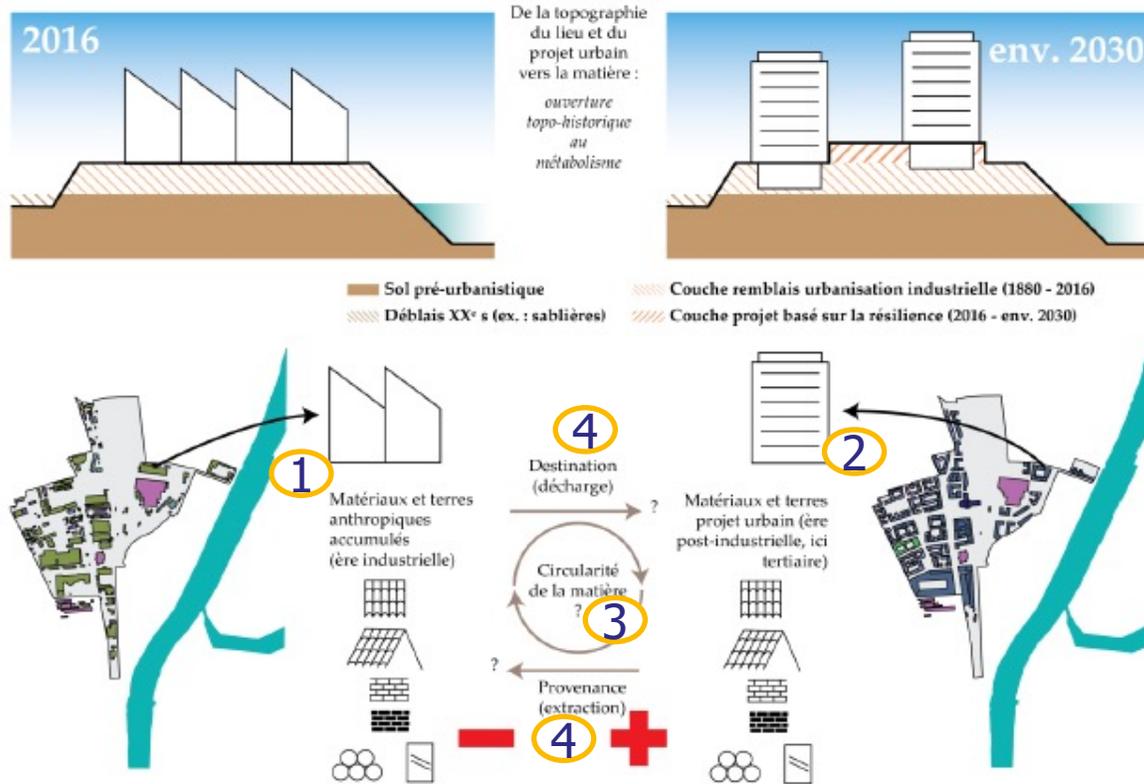


Illustration 3. Modèle de ville simplifié en vue de la quantification en matière (crédit : Jouaillec & Fernandez, 2017)

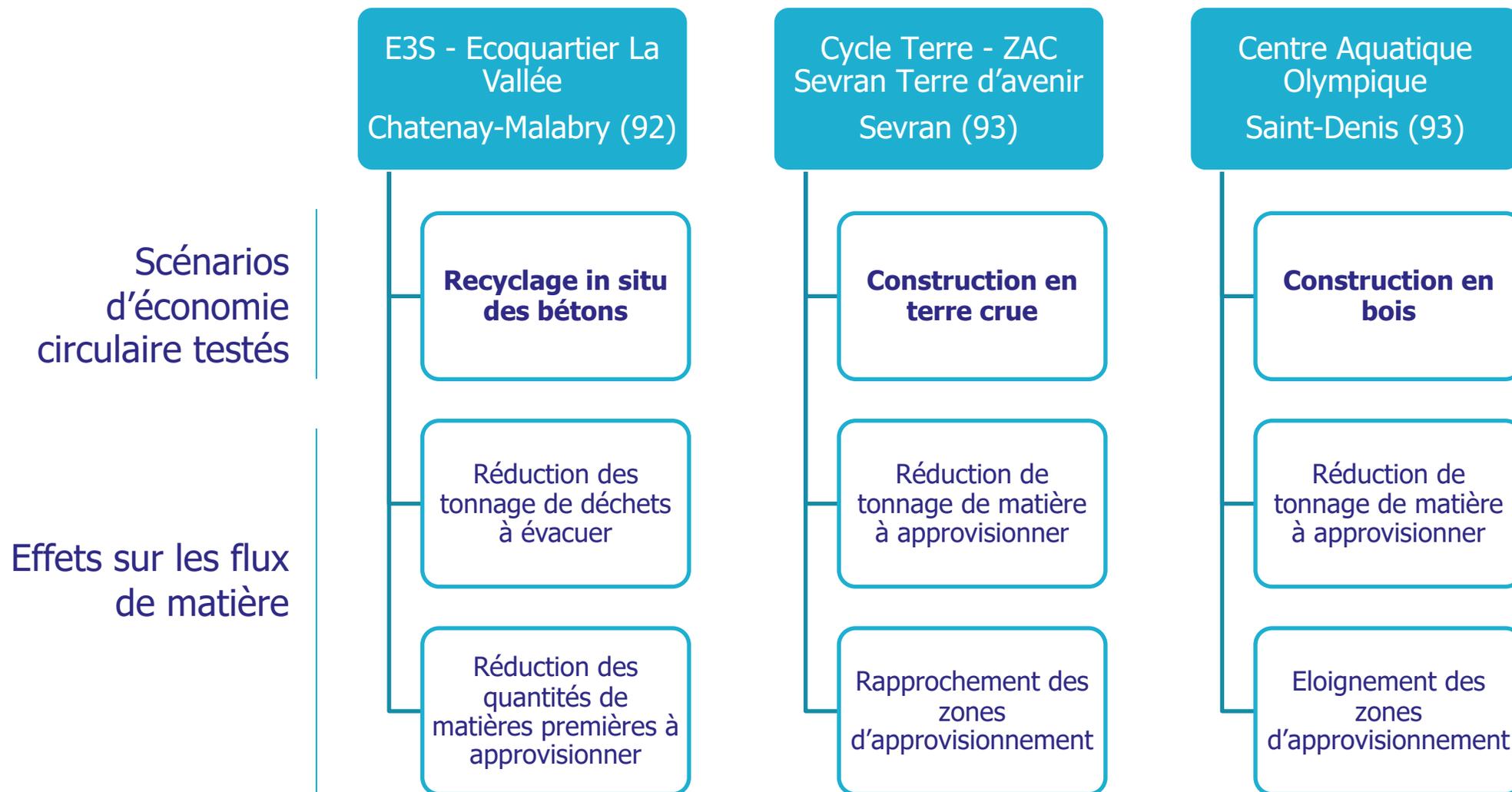
1. Quantification des matériaux, bâti existant

2. Quantification des matériaux, scénarios de construction

3. Scénarios de recyclage

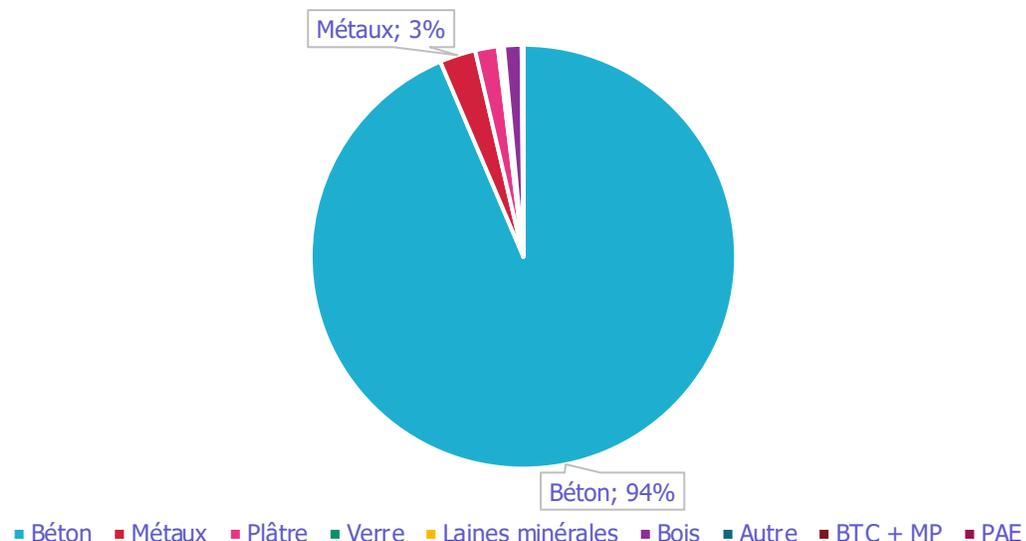
4. Scénarios logistiques

Trois projets d'aménagement en Île-de-France

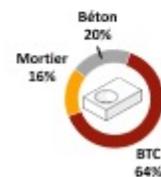
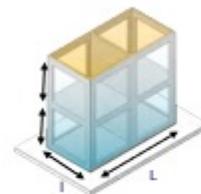


Cycle Terre – Valoriser localement les terres excavées

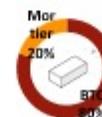
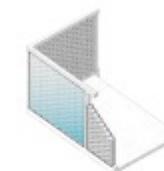
Consommation de matériaux, scénario classique



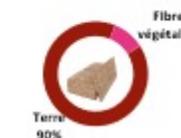
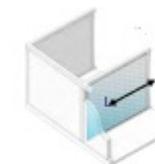
Procédé constructif N°1 :
En remplissage d'ossature



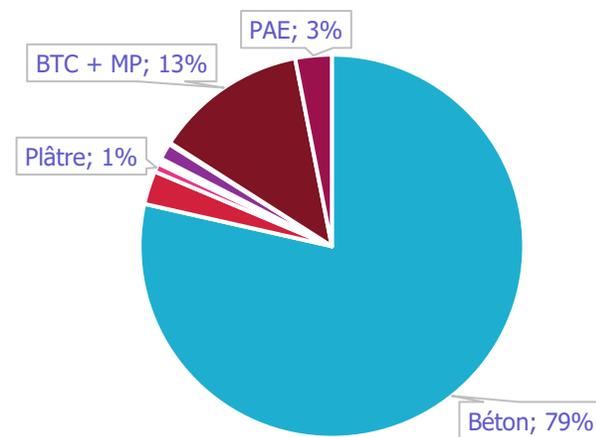
Procédé constructif N°2 :
Cloisons séparatives (circulations / parties communes)



Procédé constructif N°3 :
Cloisons distributives (intérieur)



Consommation de matériaux, scénario optimal



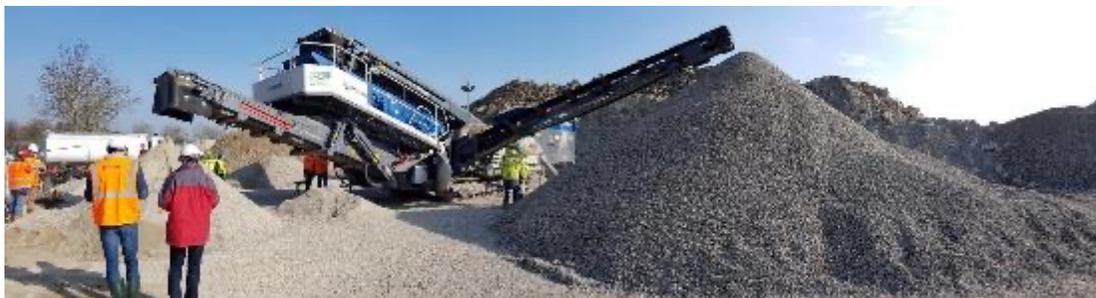
Estimations ZAC Sevran Terre d'Avenir

4 scénarios testés. Scénario optimal :

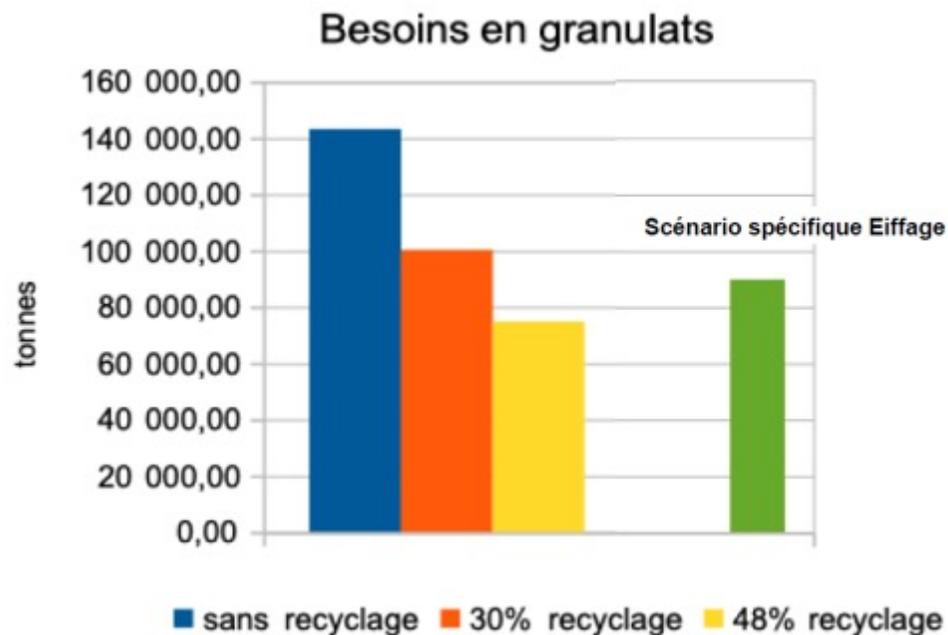
- Substitution 19% béton (46000 t)
- Substitution 59% plâtre (2600 t)

Analyse du MU du projet cycle Terre, Blanquart et al. (2023)

E3S – Recyclage du béton en situation réelle

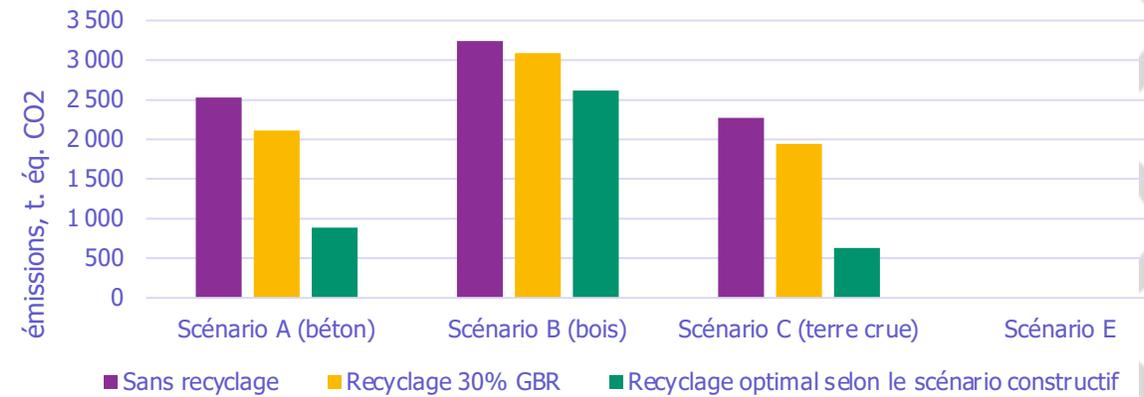
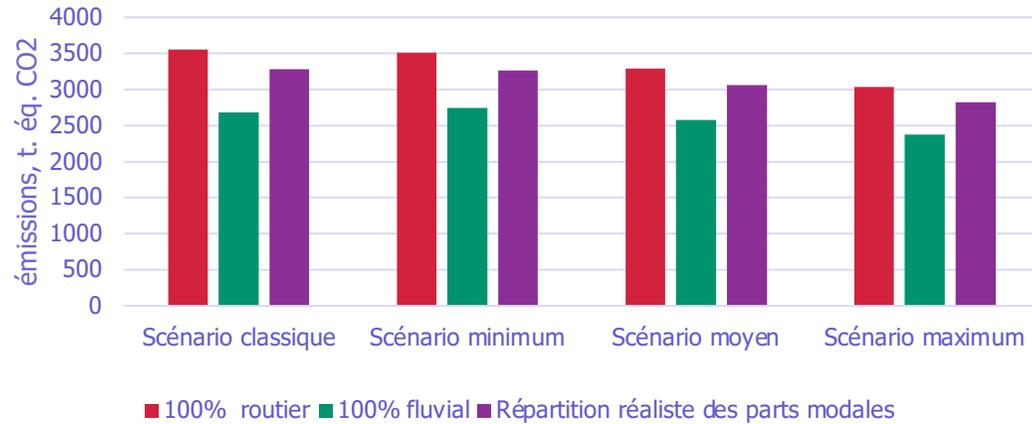


Ecoquartier La Vallée – Chatenay Malabry
(Projet E3S)



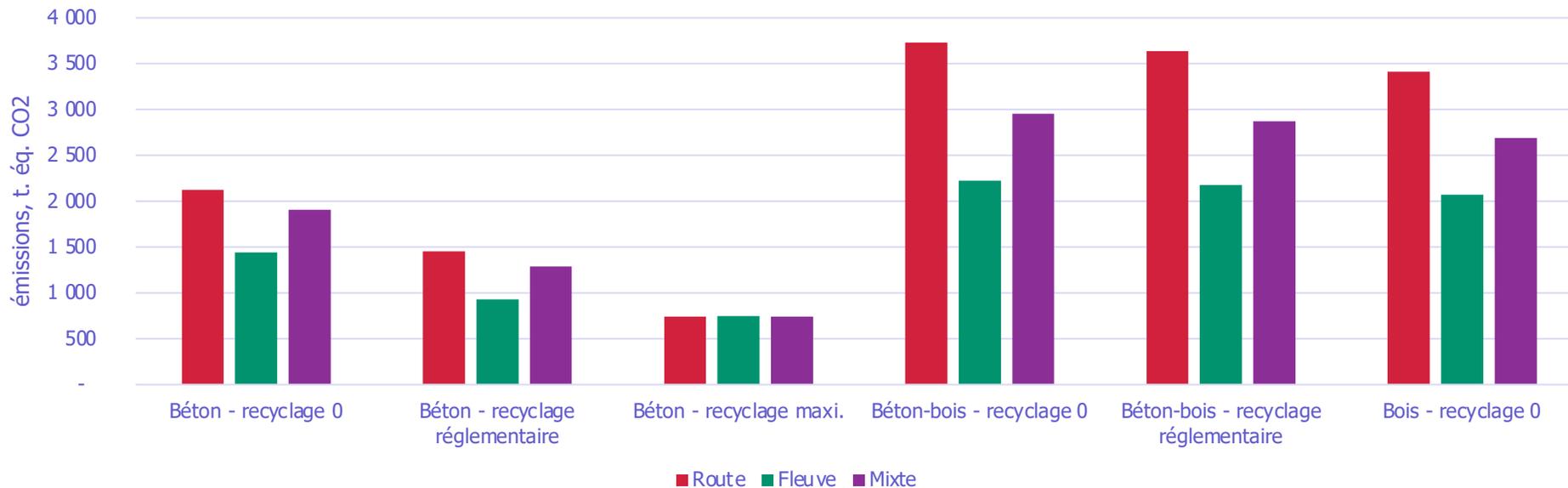
- Expérimentations sur le tri des granulats, la recarbonatation accélérée
- Intégration de granulats recyclés au-delà des normes habituelles
- 120 000 t de béton concassé, 60 000 m³ de granulats recyclés
- Objectif de circularité vs. quantification des flux de (dé)construction

Emissions dues aux transports - Résultats par chantiers



Cycle Terre (Sevrans) - Emissions des transports par scénario de construction (intégration de terre crue) et mode de transport

Ecoquartier La Vallée (Chatenay-Malabry) - Emissions des transports par scénario de construction et de recyclage, mode de transport mixte



CAO (Saint-Denis) - Emissions des transports par scénario de construction, scénario de recyclage et mode de transport

Analyse

- Avantages (relatifs) du report modal
 - Réduction émissions de CO2, selon matériaux concernés / zones d'approvisionnement
 - Dépendant de la localisation des chantiers
 - A relativiser pour l'évacuation des déchets, selon localisation des ISD
- Potentiel du recyclage in-situ ?
 - Fort potentiel de réduction des impacts du transport,
 - Dépendant des scénarios constructifs (taux de recyclage, densification)
 - Impacts hors transports ?
- Importance d'un sourcing local pour les matériaux bio et géo-sourcés
 - Impacts très variable des transports de ces matériaux, selon zone d'approvisionnement (exemples bois / terre crue)

→ Importance de prendre en compte la logistique des modèles de production
« alternatifs »

→ Importance de structurer des filières locales et d'intégrer l'aspect social

Substitution plutôt que diminution : la mise en œuvre actuelle de l'économie circulaire dans le BTP ne remet pas en cause le modèle dominant.



Echelle du territoire

Economie circulaire du BTP : des acteurs

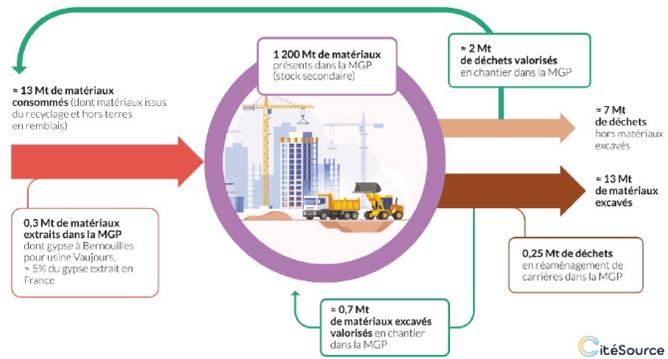
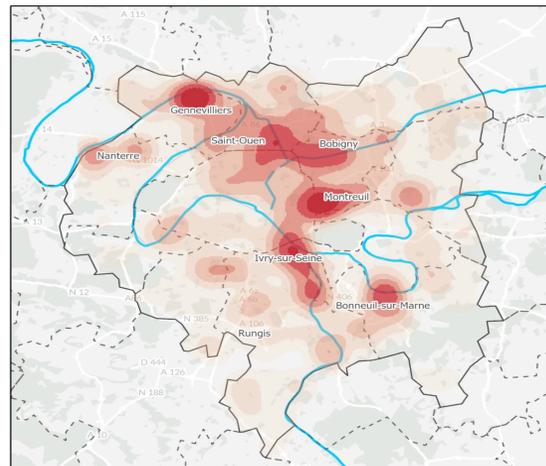


Figure 2.1. Flux de matériaux de construction et déchets de chantiers de la métropole en 2017 (Mt).
Source : modélisations de CitéSource

Les territoires de l'économie circulaire (flux matériaux) 2021 Métropole du Grand Paris

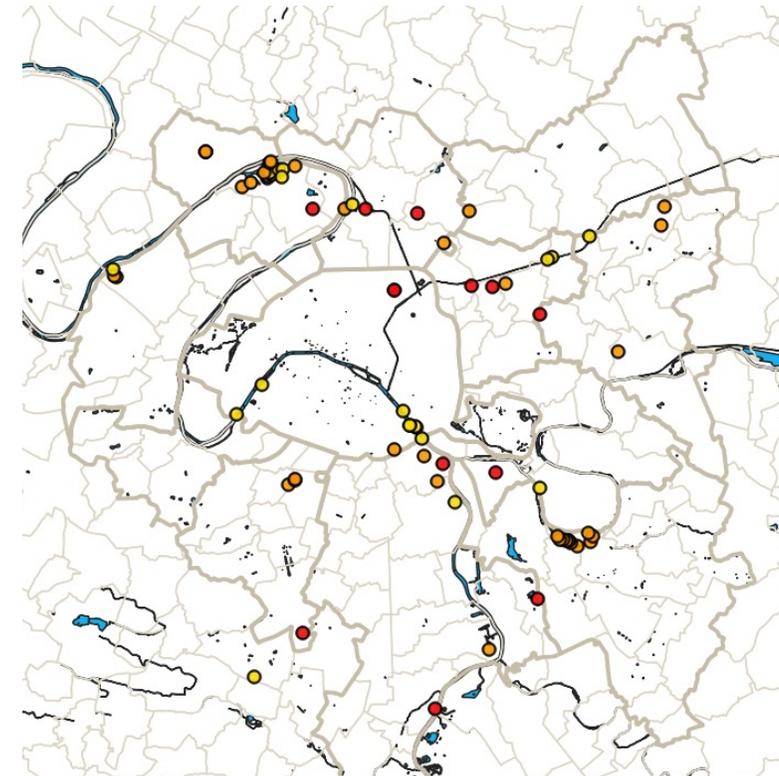


Densité d'acteurs (effectifs par unité de carte)*



* Selon l'outil de densité de nœuds (Avisi) Pro 2.0 qui calcule une grandeur par unité de carte à partir d'entités ponctuelles

Sources : L'Institut Paris Region, Fibels EKOPOLIS, CAPEI, Saint Gobain, Plaine Commune, FFB Grand Paris, CRESS



Plateformes de l'EC du BTP (Chaire ECMU)

- Centre de tri / recyclage
- Fournisseur
- Acteur du réemploi

Modèles de développement logistique de l'économie circulaire dans le BTP

Matériaux – gros œuvre

Béton - granulats

- Développement mené par les acteurs traditionnels
- Circuits logistiques intégrés avec matériaux traditionnel
 - **Transport, concassage dédié → intégration aux matériaux « neufs »**



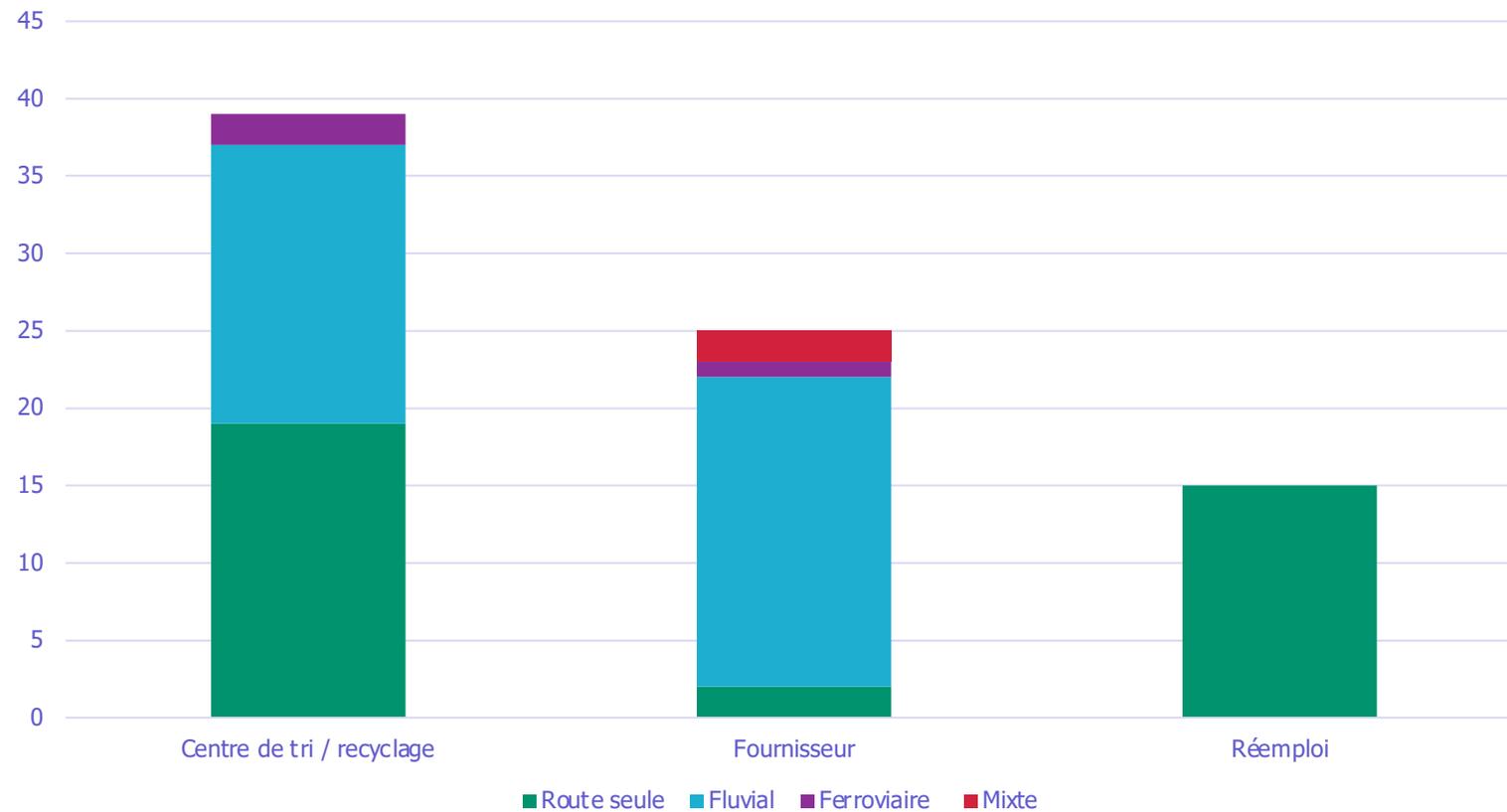
Equipements – second œuvre

- Principalement nouveaux acteurs
- Circuits logistiques spécifiques :
 - **Curage, transport, entreposage, reconditionnement et revente dédiés**



Logistique : connectivité des plateformes

Accès des plateformes aux infrastructures de transport



Moesch 2023

emmanuelle.moesch@univ-eiffel.fr

AME / SPLOTT – Chaire ECMU



Bibliographie

- Arnsperger, C., Bourg, D., 2016. Vers une économie authentiquement circulaire. Revue de l'OFCE N° 145, 91–125
- Augiseau, V., 2017. La dimension matérielle de l'urbanisation. Flux et stocks de matériaux de construction en Ile-de-France.
- Blanquart, C., Moesch, E., Zeroual, T., La terre crue comme alternative au béton ? Une évaluation de son impact sur le métabolisme des chantiers de BTP. Nature Sciences et Sociétés, à paraître
- Blanquart, C., Zéroual, T., Vilain, P., Moesch, E., 2022. Vers un tableau de pilotage de l'économie circulaire dans les entreprises du bâtiment et des travaux publics. Revue Française de Gestion Industrielle.
- Fernandez, M., Blanquart, C., Niérat, P. & Verdeil, É. (2019). Renouvellement urbain et optimisation du métabolisme : une équation complexe. Flux, 2(2-3), 58-73.
- Fernandez, M., Blanquart, C. & Verdeil, É. (2018). La terre et le béton : le projet d'urbanisme considéré sous l'angle du métabolisme territorial. VertigO, 18 (3).
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling 127, 221–232.
- Lehmann, H., Hinske, C., Margerie, V. de, Nikolova, A.S. (Eds.), 2022. The Impossibilities of the Circular Economy: Separating Aspirations from Reality. Routledge, London.
 - **Circularity's stumbling blocks How stuttering implementation and socio- metabolic root causes adversely interact** *Willi Haas*
 - **Circular Economy through a system change lens**, *Tilmann Vahle et al.*
- Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound: Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*, 20(4), 719– 729. [https:// doi.org/ 10.1111/ jiec.12545](https://doi.org/10.1111/jiec.12545)

Sources des données :

1. Bâtiments existants

Typologie des bâtiments issue de l'étude ASURET (2012) par le BRGM sur le bâti de la Ville d'Orléans

2. Nouvelles constructions

- Typologie des bâtiments issue de l'étude prospective de consommation des matériaux (2019) par l'ADEME et le CSTB
- Estimations Chaire ECMU (terre crue, bois)

➡ BILAN DES MATERIAUX

3. Recyclage du béton

Norme NF EN 206/CN sur l'utilisation de granulats recyclés pour la formulation des bétons

4. Logistique

Calculs à partir du guide ministériel Information GES des prestations de transport (2012, mäj 2018)

Evacuation / approvisionnement

Destination des déchets

Pour chaque type de déchets

- Identification des exutoires :
Installation de stockage de déchets inertes (ISDI), Installation de stockage de déchets non-dangereux (ISDND), Installation de stockage de déchets dangereux (ISDD)
- Les plus proches par la route, les plus proches par le fleuve

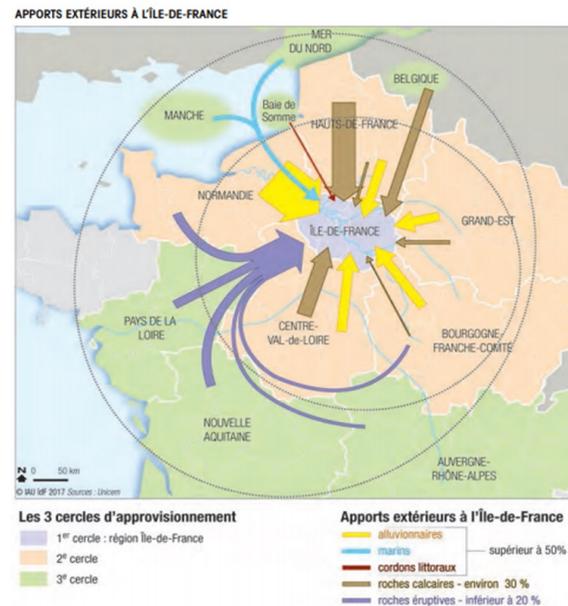


■ Site du CAO ▲ ISDND la plus proche par la route - - - Distance par la route : 30 km
▲ ISDND la plus proche par le fleuve - - - Distance par le fleuve : 80 km

Origine des matériaux

Pris en compte : béton, bois, terre crue

- Sable et granulats : provenance 55% IDF (50km), 45% hors IDF (rayon de 188 km)
- Terre crue : issue de terres excavées proche du chantier (15 km)
- Bois : provenance 50% France (500 km), 50% Europe (1500 km)



Modes de transport

Trois scénarios définis :

- scénario routier (tous matériaux et déchets)
- scénario " fluvial " (tous matériaux et déchets, sauf terre crue)
- scénario " mixte " (68% route / 32% voie d'eau pour les granulats et les sables, 50% route / 50% fluvial pour le bois)

Véhicules considérés

- Benne TP (108g eq.CO₂/ t.km)
- Chaland de Seine (52,9g eq.CO₂ / t.km)

DRIEE, IAU IDF, UNICEM, 2017. Granulats en Île-de-France - Panorama Régional. – Calculs E.Moesch

Projet Cycle Terre, sites d'approvisionnements de la fabrique

Prévisions Solideo et FIBois, calculs Tretout, C. Okoman et E. Moesch

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2018. Information GES des prestations de transport - Guide méthodologique.