

Impacts de l'intégration de la terre crue sur le métabolisme urbain d'une opération d'aménagement

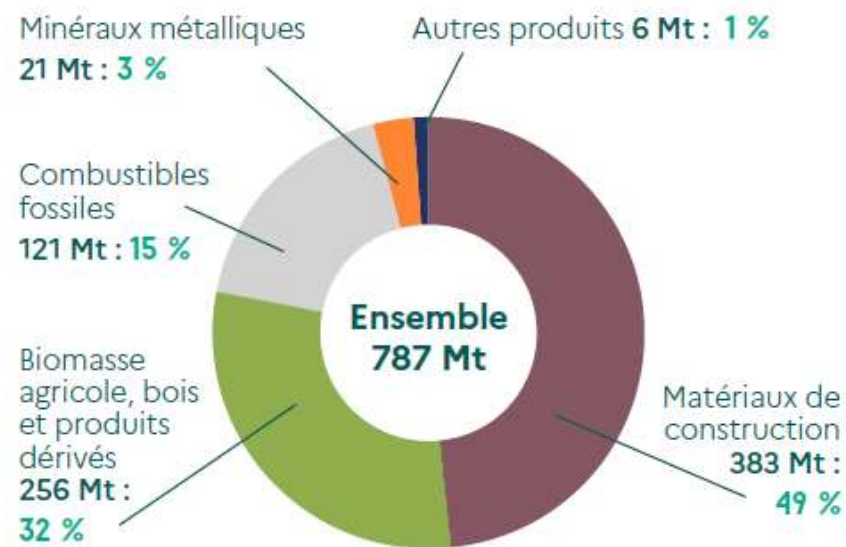


Enjeux environnementaux du BTP, approche du métabolisme urbain

Impacts du secteur BTP

- 40% des émissions de GES mondiales (UNEP IEA 2019)
- Premier poste de consommation de ressources (49% en France) et de production de déchets (70% en France)
- Artificialisation : directe et indirecte
- Travail sur les formes urbaines
- Travail sur les matériaux : volume, recyclage et type

Figure 1. *Consommation intérieure apparente de matières en 2018*



Source : Eurostat

Référence : Ref1_Matières mobilisées par l'économie française

Adème, *Déchets Chiffres clés 2020*

Construction en terre crue

- Utilisée pendant des millénaires, progressivement abandonnée au cours du XXème siècle (Hamard et al. 2016)
- Regain d'intérêt pour la terre crue (pisé, bauge, BTC..) mais utilisation marginale (Morel et Charef, 2019)
- Connaissances sur les propriétés technique (Morel *et al.*, 2021)

→ Intérêt d'étudier le potentiel d'intégration dans la construction via une approche d'analyse de métabolisme urbain



Analyse du métabolisme territorial

Métabolisme territorial : « processus par lesquels un territoire consomme et rejette la matière et l'énergie » (Barles 2008)

Outil de compréhension du fonctionnement physique d'un territoire

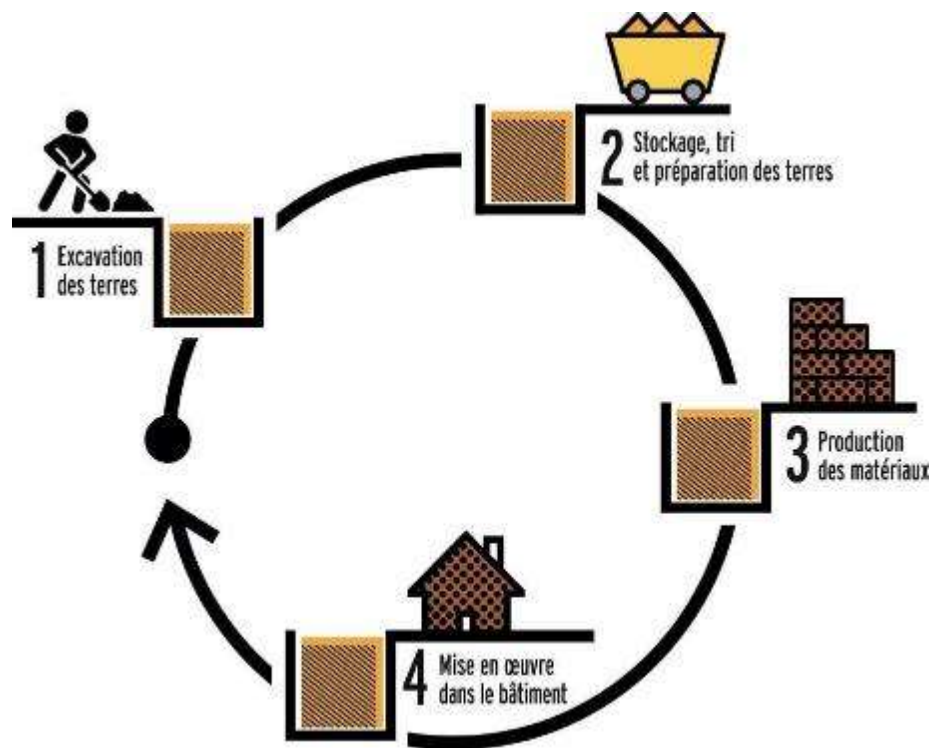
- Définition du système étudié :
 - Territoire, temporalité, ressources
- Analyse de la mobilisation des ressources
 - Comptabilité : flux entrant, flux sortants, stocks, recyclage



The background features a dark green upper section and a blue lower section. Large, white, semi-circular and circular shapes are scattered across the green area, while lighter blue semi-circular shapes are visible in the blue area. The text is centered in the green section.

Terrain : Cycle Terre et la ZAC Sevrans Terre d'avenir

Cycle Terre



- Eviter la production de déchets
- Produire des matériaux de construction à faible impact environnemental



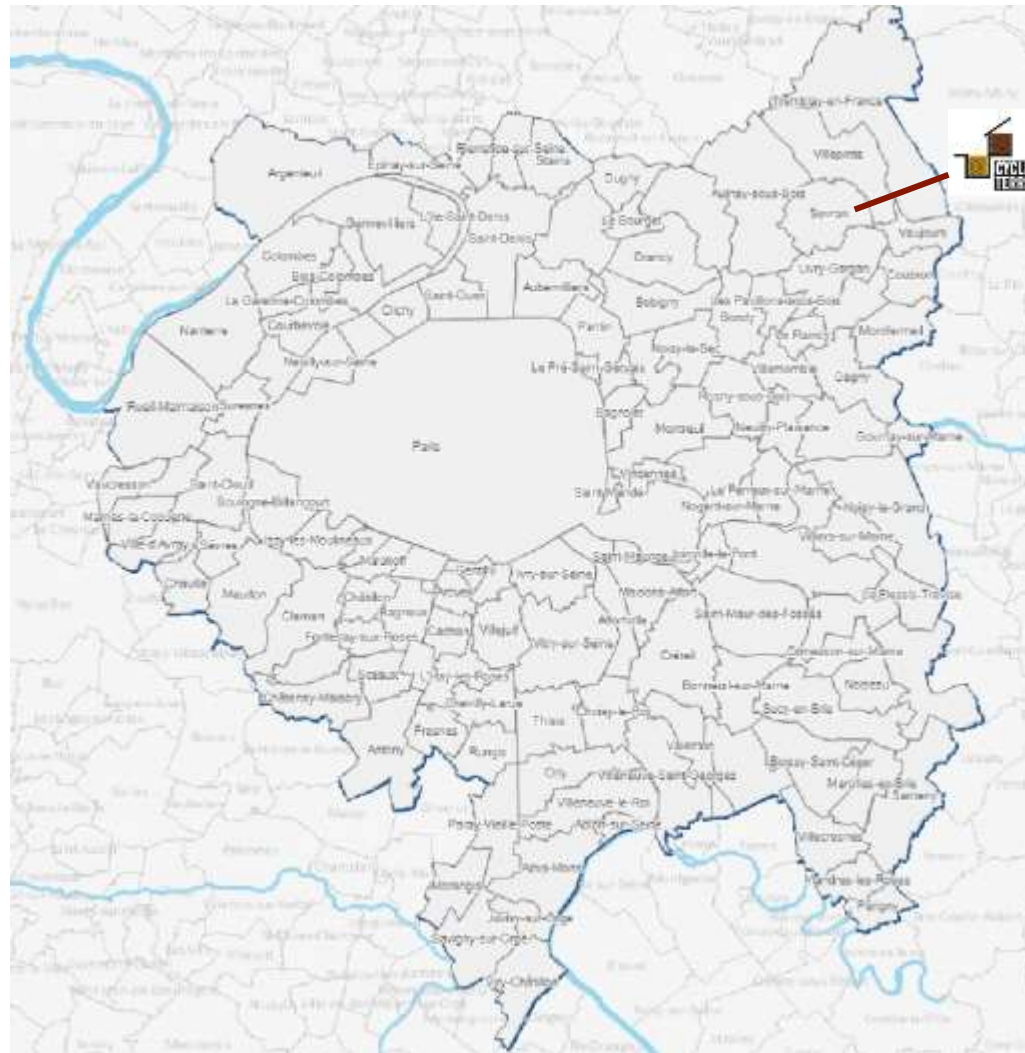
A grid of logos for project partners:

- antea group
- grand paris aménagement
- QUARTUS ET LA VILLE SE PARTAGE
- SciencesPo
- Société du Grand Paris
- Sevran
- JOLY & LOIRET AGENCE D'ARCHITECTURE
- ECT LES TERRAINS, SES PROJETS, LA VIE
- amòco
- NS/AG LABEX AE/CC
- CRAterre
- Université Gustave Eiffel
- Compétences Emplo SEVRAN

A grid of logos for funding and support organizations:

- EUROPEAN UNION
- UIA
- Région Île de France
- in'li Groupe ActionLogement
- Démonstrateurs ville durable

ZAC Sevrans Terre d'Avenir



Type de bâtiment	Surface
Logements Collectifs	144 805
Bureaux	7 639
Commerces	2 060
Equipements & Activités	7 871
Enseignement	6 132

Bilan prévisionnel des surfaces de la ZAC Terre d'Avenir

(données 2019)

The background features a dark green upper section and a blue lower section. Large, white, semi-circular and circular shapes are scattered across the green area, while lighter blue semi-circular shapes are visible in the blue area.

Estimation des quantités de matière ZAC Sevran Terre d'avenir

Métabolisme à l'échelle d'un projet urbain (BTP)

Aurez et Georgeault (2016)

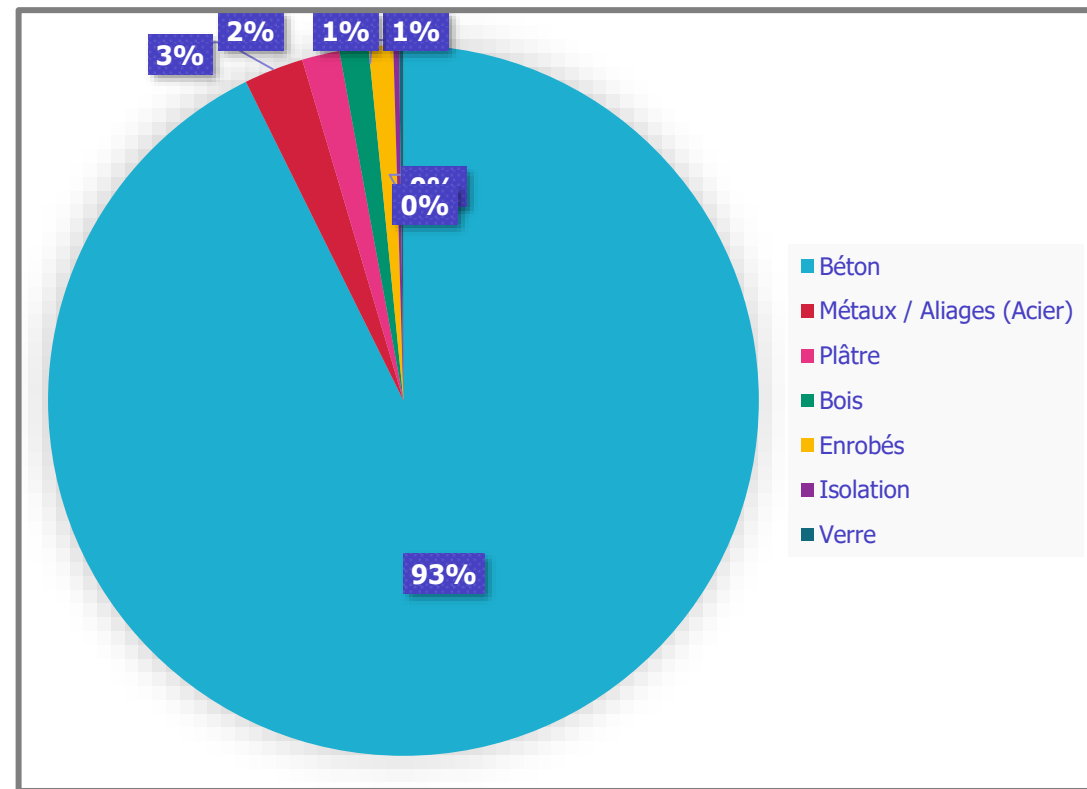
Augiseau (2017)

→ Fernandez et *al.* (2018)

- Méthode ascendante
 - Evaluation des stocks de matériaux (existant / projet)
 - Scénarios constructifs
 - Scénarios logistiques
- Tests scénarios
 - Constructifs
 - Logistiques
 - Analysés selon :
 - Consommation matière
 - Emissions et coûts transports

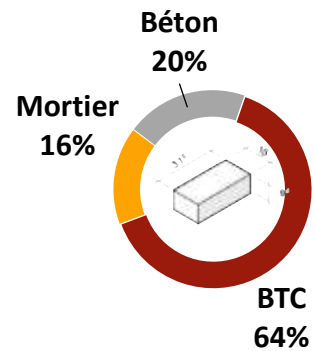
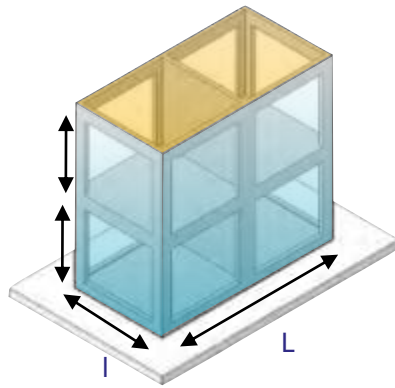
Besoin en matières scénario classique

Produits	Logement	Bureaux	Commerces	Equipement	Enseignem.	TOTAL
Béton	220937	11654	824	3149	9356	245920
Métaux / Alliages (Acier)	5823	307	156	656	247	7189
Plâtre	4126	218	4	9	175	4530
Bois	3200	169	0	0	136	3505
Enrobés	2462	130	0	260	104	2956
Isolation	597	31	8	31	25	693
Verre	462	24	4	5	20	515

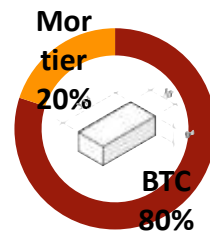
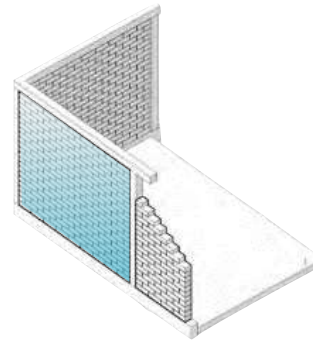


Estimation construction terre crue : Approche par les procédés constructifs

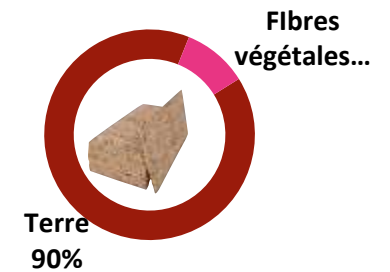
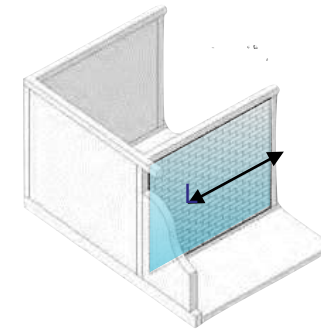
Procédé constructif N°1 :
En remplissage d'ossature



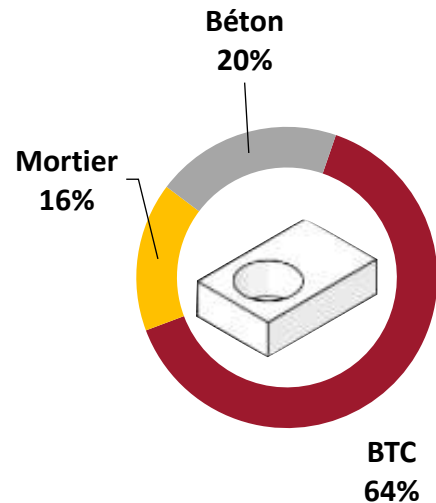
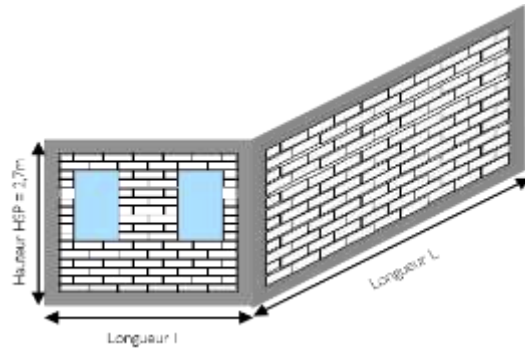
Procédé constructif N°2 :
Cloisons séparatives (circulations
/ parties communes)



Procédé constructif N°3 :
Cloisons distributives
(intérieur)



Application 1 : BTC en remplissage ossature extérieure



Composition murs

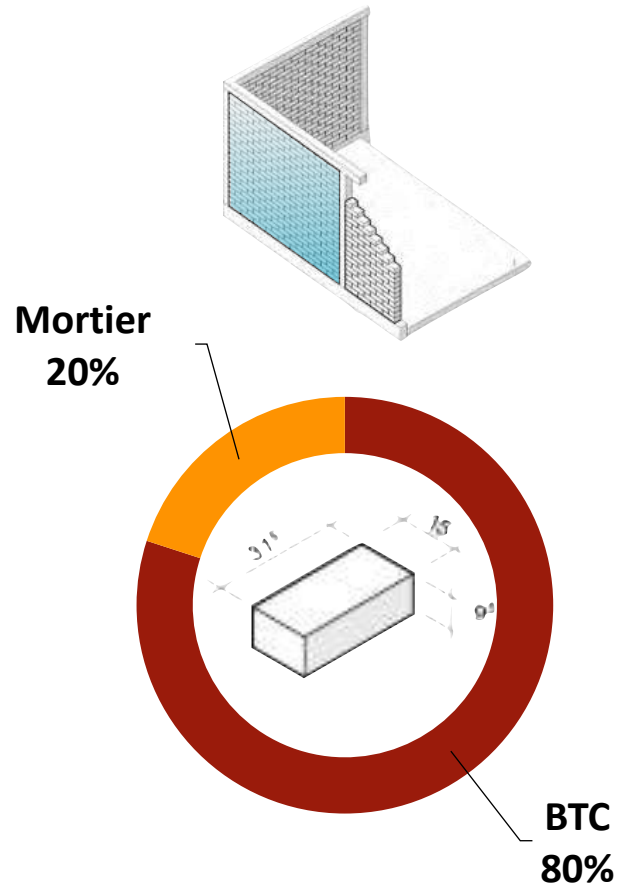
- 20% béton
- 80% éléments terre crue (dont 80% BTC, 20% mortier)

Éléments :

- Briques en terre compressée standard
 - **31,5 x 9,5 x ep 15 cm - 8,7 kg - 1900 kg/m³**
- Mortier de pose
 - **1800 kg/m³**

→ Remplace structure béton ep. 18 cm

Application 2 : BTC cloison séparative



Composition cloison

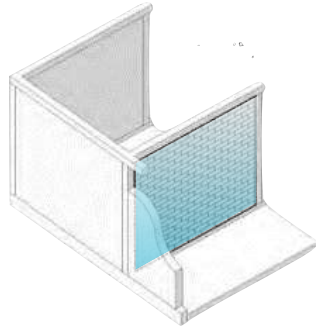
- 100% éléments en terre crue (dont 80% BTC, 20% mortier)

Éléments :

- BTC standard
 - **31,5 x 9,5 x ep 15 cm - 8,7 kg - 1900 kg/m³**
- Mortier de pose (toutes applications)
 - **1800 kg/m³**

→ Remplace cloison béton ep. 16 cm
(doublement plaque de plâtre ou PAE dans les 2 cas)

Application 4 : PAE en cloison distributive



**100% PAE
double pose**

Composition cloison :

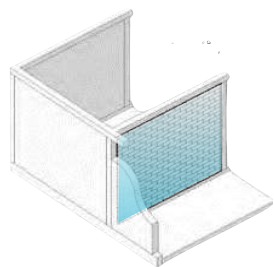
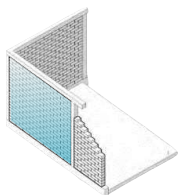
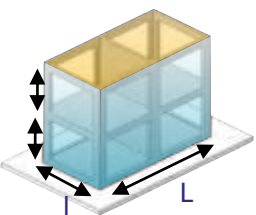
- 100% PAE

Elements

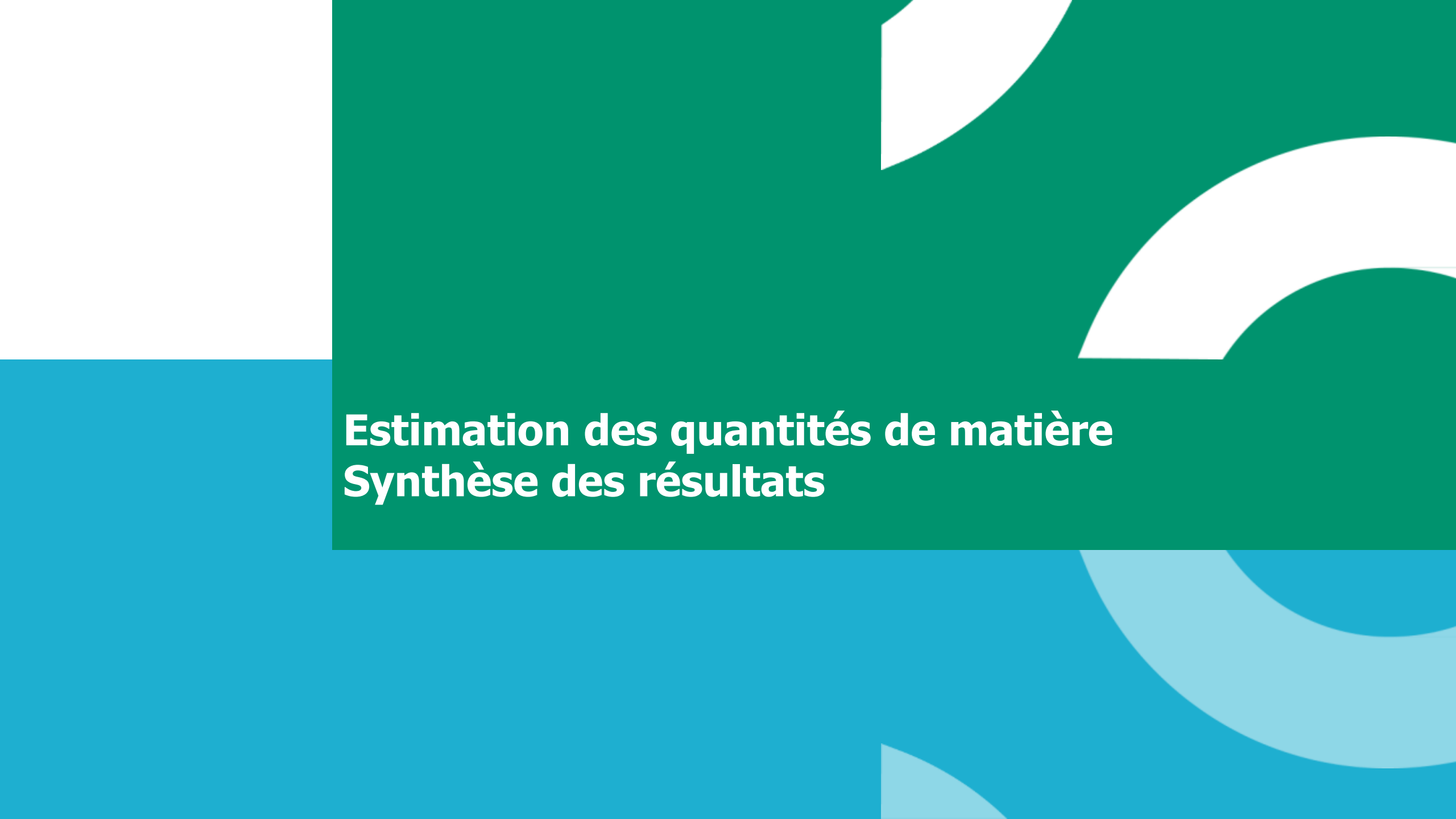
- Panneaux en terre extrude
 - **120 x 62,5 x ep 2cm - 20 kg – 1333 Kg/m³**

→ Remplacement cloison en plaques de plâtre
(double pose dans les deux cas)

Scénarios constructifs



Application	Scénario	Scénario optimal	Scénario moyen	Scénario minimum
1. BTC en comblement d'ossature extérieure		<ul style="list-style-type: none"> - Tous murs extérieurs, tous les bâtiments 	<ul style="list-style-type: none"> - Tous murs extérieurs - 50% des bâtiments 	<ul style="list-style-type: none"> - Non appliqué
2. BTC en cloison séparative		<ul style="list-style-type: none"> - 1 paroi de la longueur du bâtiment+ 1 paroi largeur tous les bâtiments 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 paroi de la longueur du bâtiment+ 1 paroi largeur - 50% des bâtiments 	<ul style="list-style-type: none"> - 50% des logements
3. PAE en cloison distributive		<ul style="list-style-type: none"> - Logement : 24 m de cloison par logement - Bureaux : 7m par bureau, 20 bureaux / étage - Enseignement : 10m par salle ou local, 20 salles par étage 	<ul style="list-style-type: none"> - 18 m de cloison par logement - 4m / bureau, 20 bureaux / étage - 5m par salle, 20 salles / étage 	<ul style="list-style-type: none"> - 12 m de cloison par logement - 4m par bureaux, 10 bureaux par étage (1 sur 2) - 5m par salle, 10 salles par étage (1 sur 2)

The background features a dark green upper section and a blue lower section. Large, white, semi-circular shapes are positioned in the top right, and lighter blue semi-circular shapes are in the bottom right.

Estimation des quantités de matière

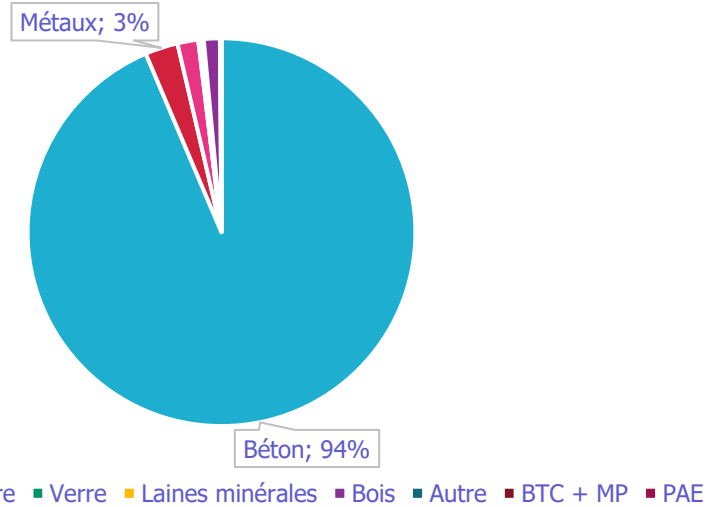
Synthèse des résultats

Bilan des scénarios constructifs

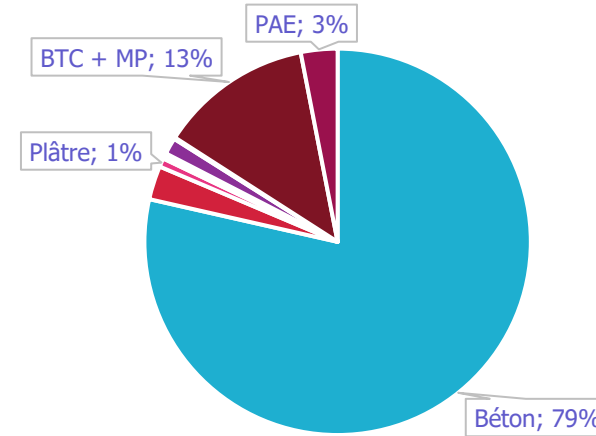
	Sans Cycle Terre		Avec Cycle Terre					
	Sans Cycle Terre	%	Scénario optimal		Scénario moyen		Scénario minimum	
Béton	245920	94%	200009	79%	222964	86%	241705	91%
Métaux	7189	3%	7189	3%	7189	3%	7189	3%
Plâtre	4530	2%	1846	1%	2539	1%	3214	1%
Verre	515	0%	515	0%	515	0%	515	0%
Laines minérales	693	0%	693	0%	693	0%	693	0%
Bois	3505	1%	3505	1%	3505	1%	3505	1%
Autre	338	0%	338	0%	338	0%	338	0%
BTC + MP	0	0%	32726	13%	16363	6%	3394	1%
PAE	0	0%	7808	3%	5791	2%	3829	1%
TOTAL	262689	100%	254628	100%	259897	100%	264382	100%

Bilan des scénarios constructifs

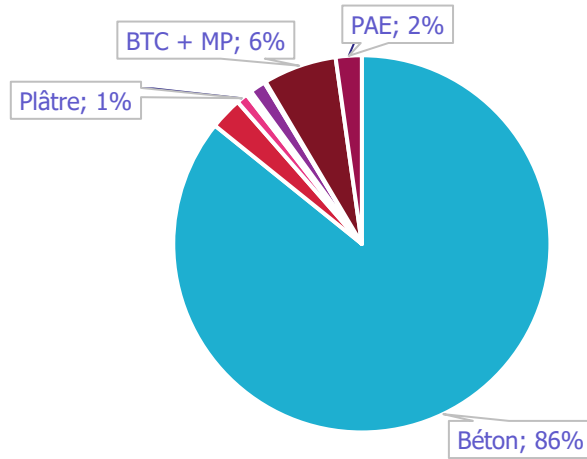
Consommation de matériaux, scénario classique



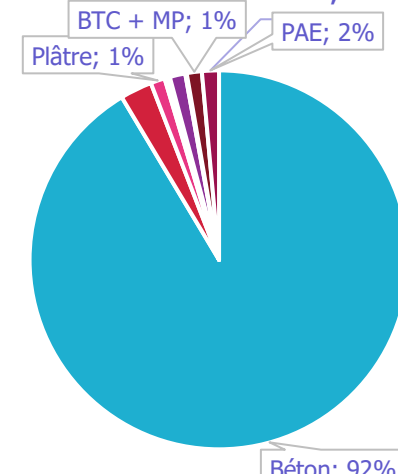
Consommation de matériaux, scénario optimal



Consommation de matériaux, scénario moyen

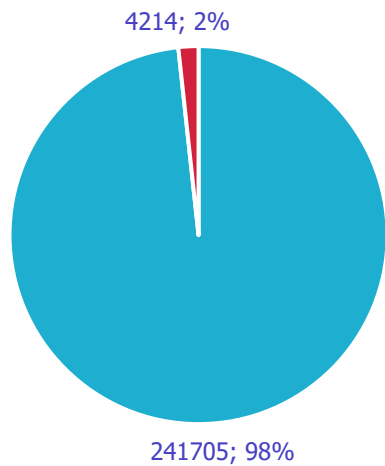


Consommation de matériaux, scénario mini.



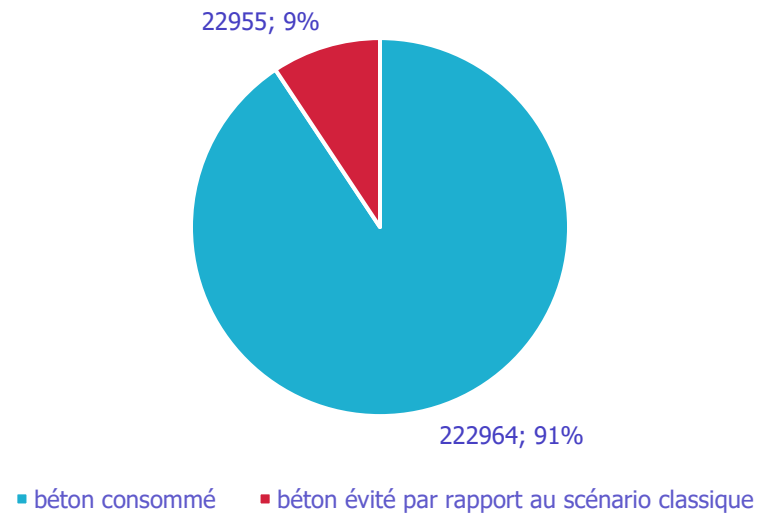
Compensation béton

Consommation de béton, scénario minimum

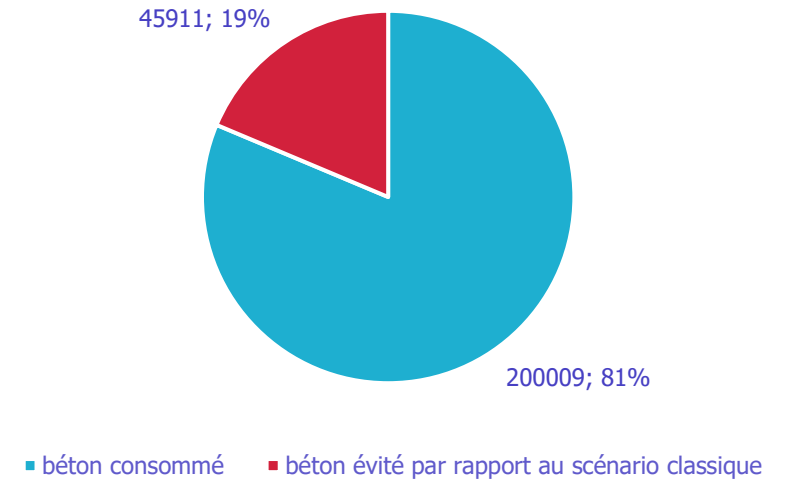


■ béton consommé ■ béton évité par rapport au scénario classique

Consommation de béton, scénario moyen



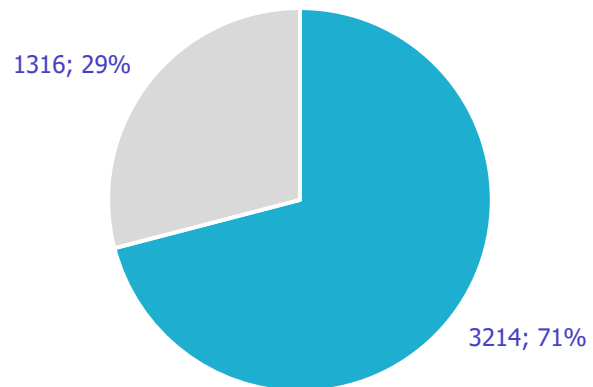
Consommation de béton, scénario optimal



■ béton consommé ■ béton évité par rapport au scénario classique

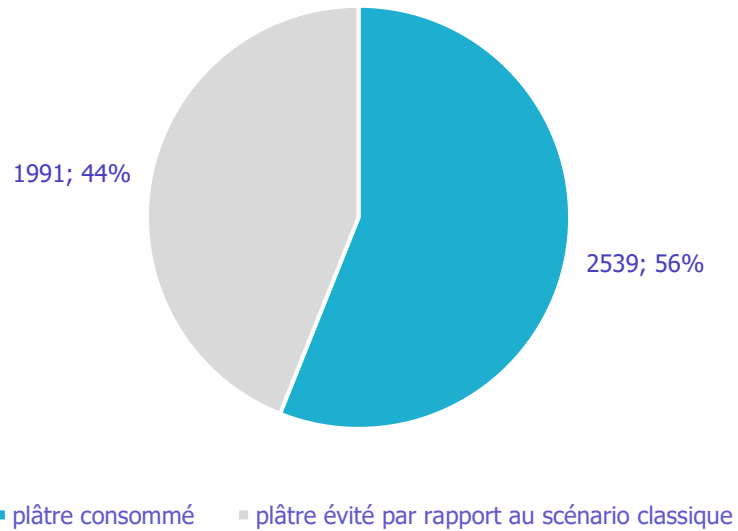
Compensation plâtre

Consommation de plâtre, scénario minimum



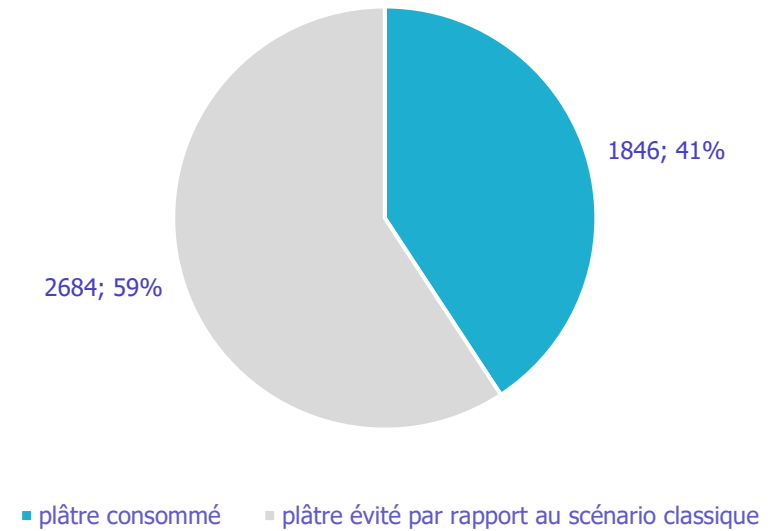
■ plâtre consommé ■ plâtre évité par rapport au scénario classique

Consommation de plâtre, scénario moyen



■ plâtre consommé ■ plâtre évité par rapport au scénario classique

Consommation de plâtre, scénario optimal



■ plâtre consommé ■ plâtre évité par rapport au scénario classique

Conclusions sur le bilan de matières

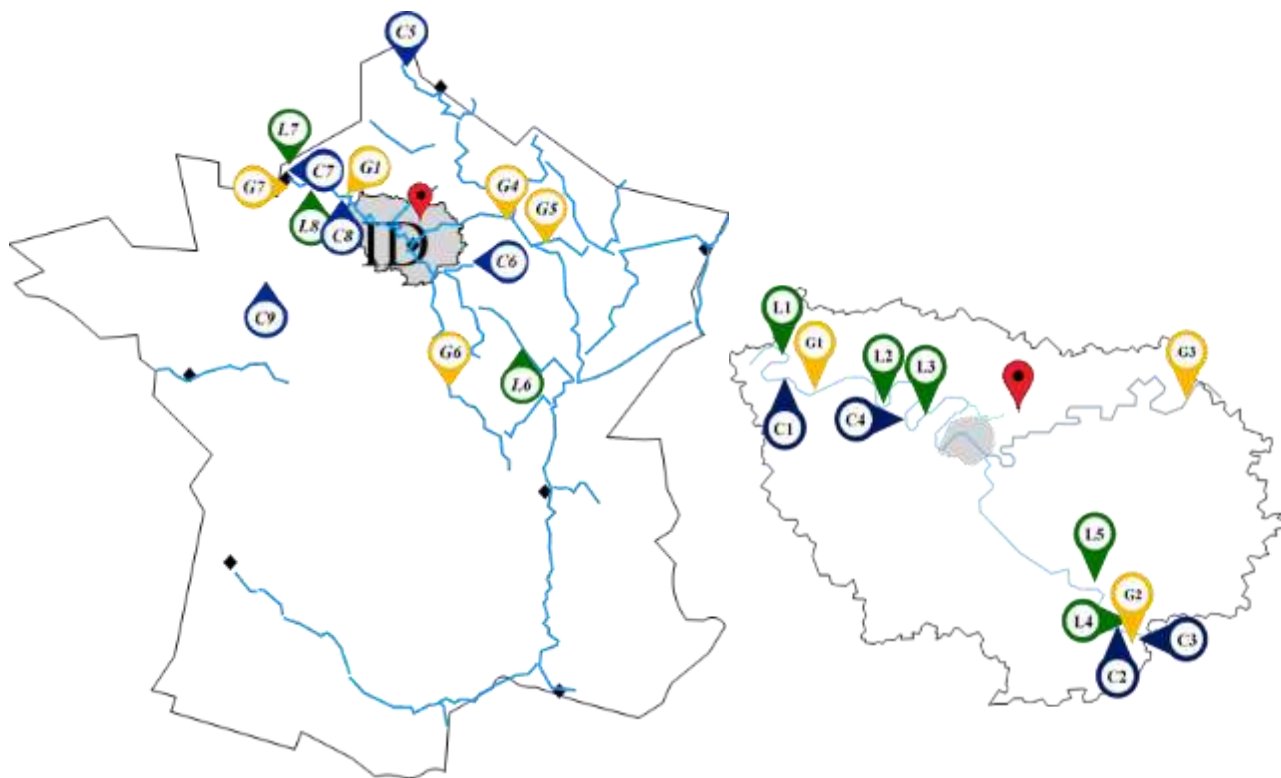
- Pas de changement radical du métabolisme : béton reste dominant (80 à 95%)
- Scénarios moyen et optimal : intérêt de la terre crue en substitution
 - du béton : 0 à 19%
 - du plâtre : 29 à 59%

The background features a dark green upper section and a blue lower section, separated by a white horizontal line. Large, overlapping white and light blue circular and semi-circular shapes are scattered across the green and blue areas, creating a modern, abstract design.

Estimation des impacts logistiques

Hypothèses

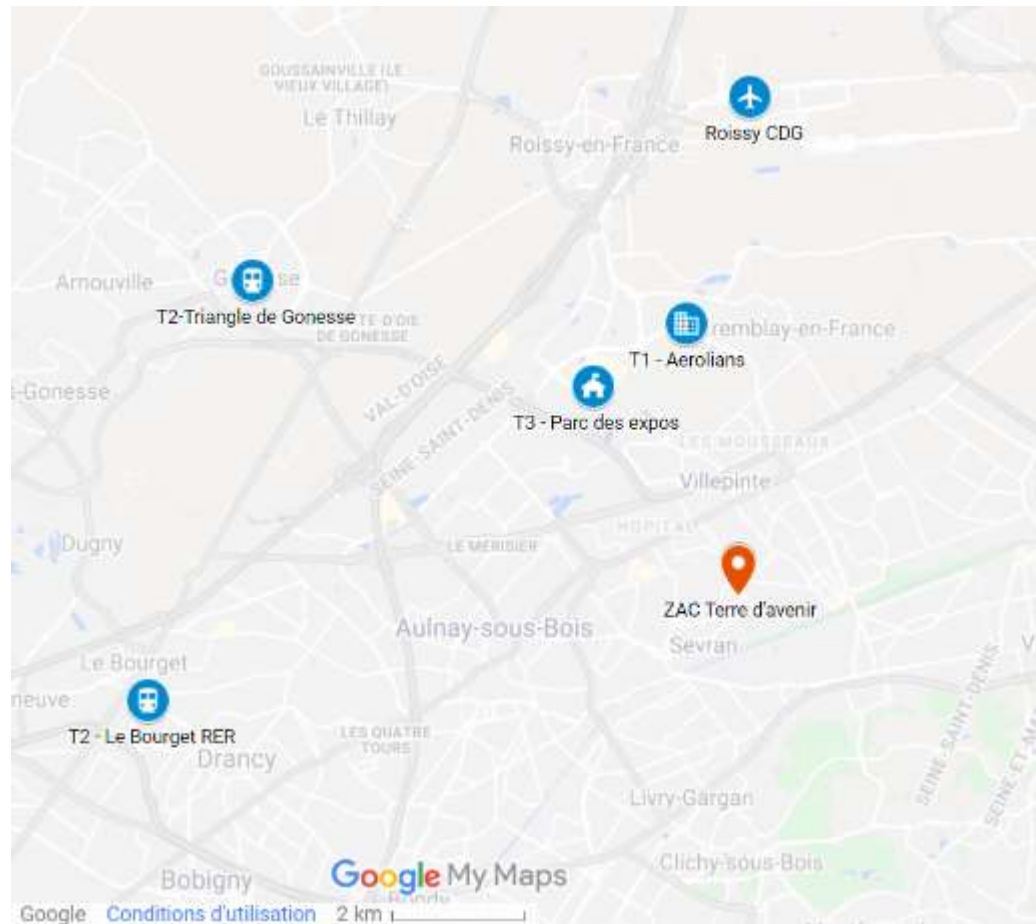
Sites d'approvisionnement en granulats et ciment (béton)



	Distance moyenne au chantier par voie routière (km)	Distance moyenne au chantier par voie fluviale (km)
Carrières d'Île-de-France	90	118
Carrières hors Île-de-France	218	299
Ciment calcaire / et argile	149	129

Sites d'extraction pour Lafarge (L), CEMEX (C) et Heidelberg Group (G) bénéficiant d'une desserte fluviale en France et en Île-de-France

Sites d'approvisionnement en terre crue et sable (BTC)



- Site pris en compte pour l'approvisionnement des terres : Aerolians
- Approvisionnement en sable local (moyenne Île de France)

Choix modaux et véhicules

Trois scénarios logistiques

- 100% routier
- 100% fluvial
- « Mixte » : 68% routier, 32% fluvial
(Panorama des granulats en IDF, DRIEE IAU UNICEM 2017 – voie ferrée exclue)

Catégorie de moyen de transport	€ / t.km *	g CO2 / t.km **
Benne TP (40 tonnes PTR)	0,11	108
Automoteur type chaland de Seine (650-1000 tonnes)	0,03	52,9

*PREDEC, Région Île de France (2015)

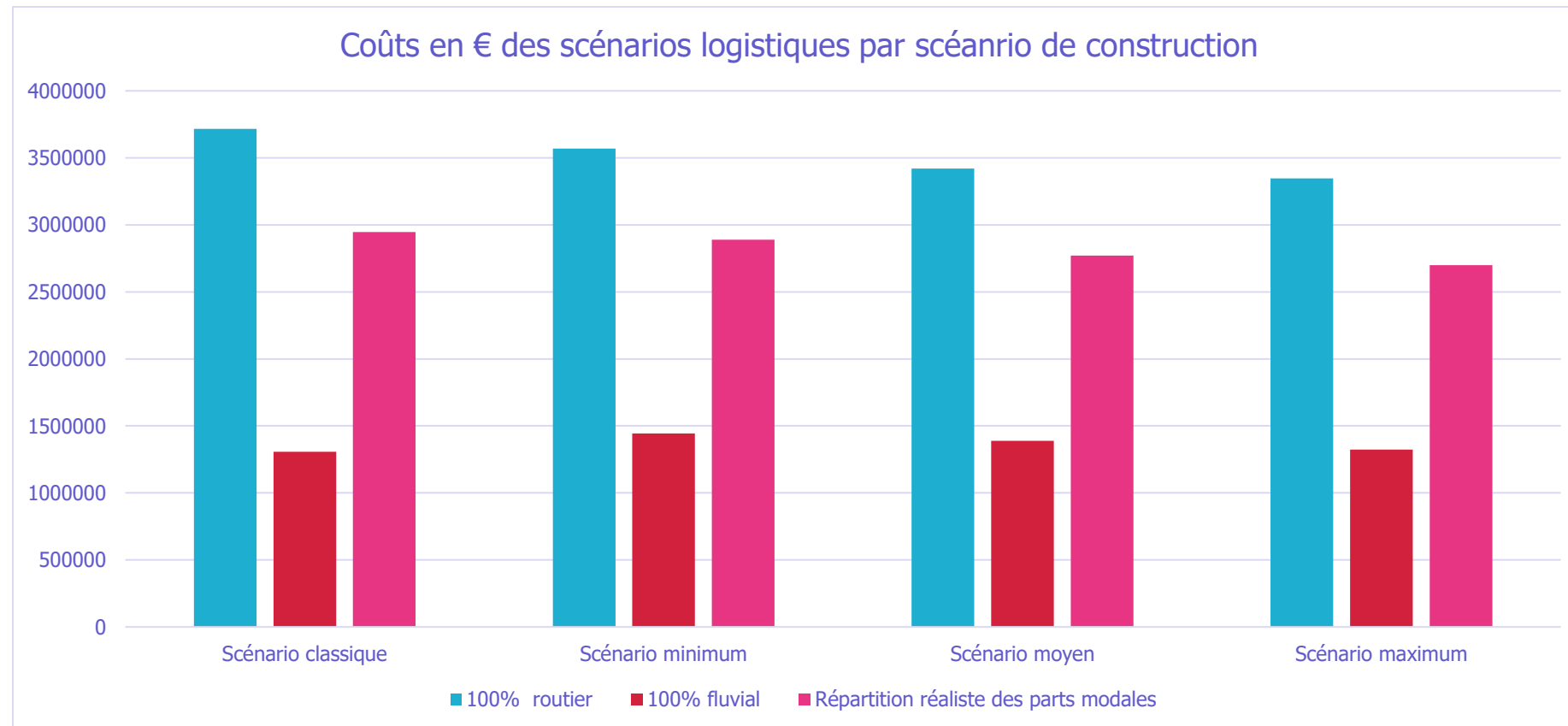
Hors congestion, hors rupture de charge

** Information GES des prestations de transport, MTES (2018)

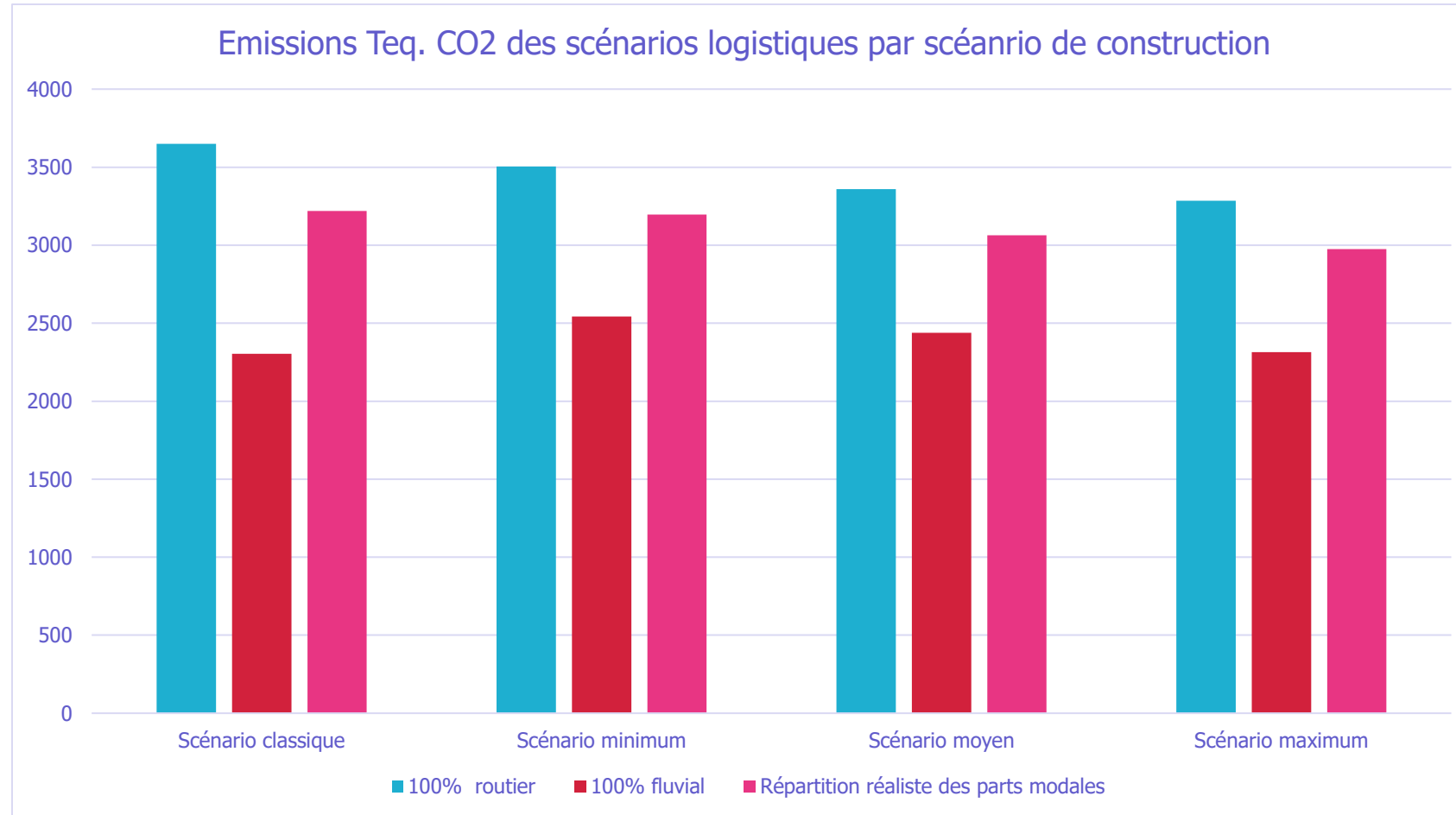
The background features a dark green upper section and a blue lower section, separated by a white horizontal line. Large, overlapping white and light blue circular and semi-circular shapes are scattered across the green and blue areas, creating a modern, abstract design.

Estimation des impacts logistiques Synthèse des résultats (maj 2021)

Coûts des différents scénarios

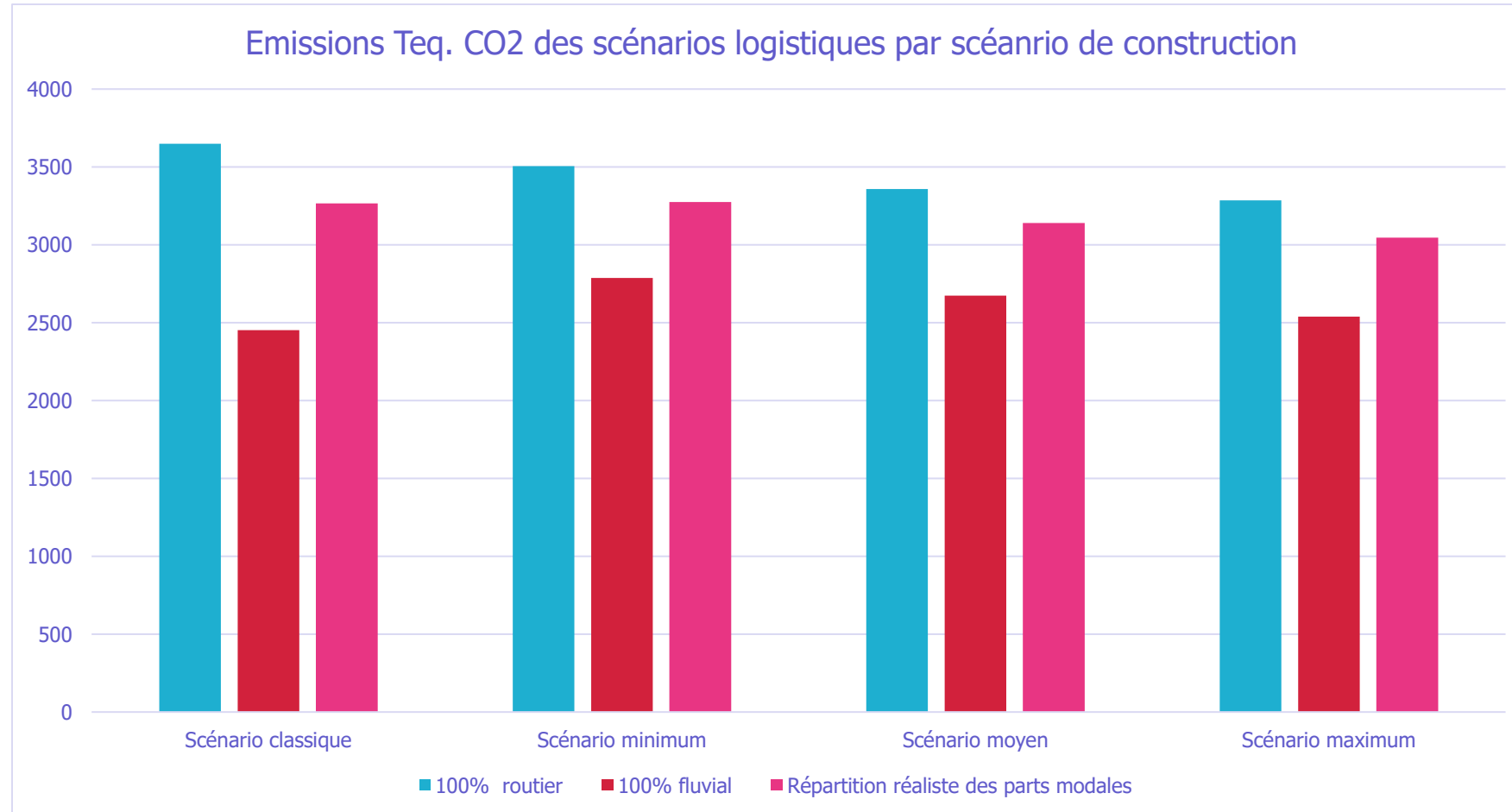


Emissions de CO₂ des différents scénarios



Emissions de CO₂ des différents scénarios

Intégration d'un post-acheminement de 10km



Conclusions

Emissions :

- Intégration de la terre crue permet une amélioration (jusque 10%) sauf pour le fluvial
- Confirmation de l'intérêt du fluvial pour le BTP - mais peu de marge d'amélioration ?

Perspectives de travail

- Arbitrage local / approvisionnement fluvial
- Amélioration estimation des coûts
- Intégration plâtre et PAE
- Intégration du ferroviaire