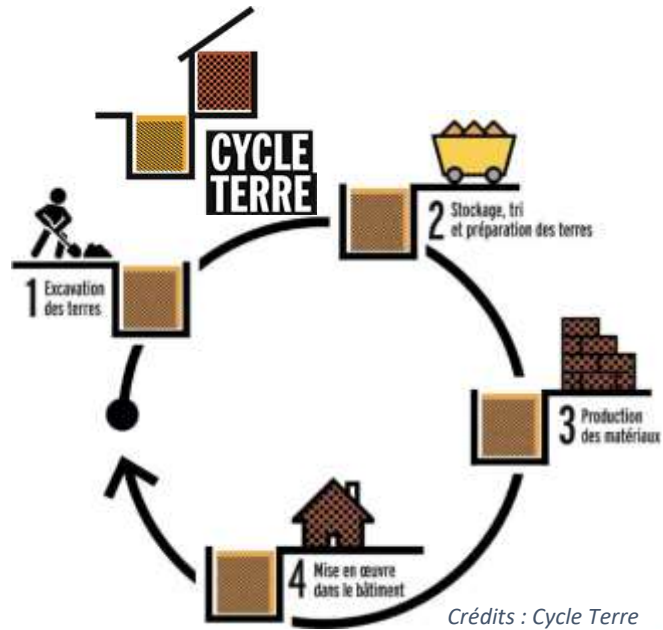


### 1. Contexte

Cycle Terre est un projet de recyclage des terres excavées en matériaux de construction en terre crue. Le projet repose sur la mise en place d'une fabrique de matériaux implantée à Sevrans (93) et mise en service à l'automne 2021. À partir des terres excavées sur les chantiers du Grand Paris, la fabrique a pour ambition de produire des matériaux pour les projets d'aménagement à proximité.

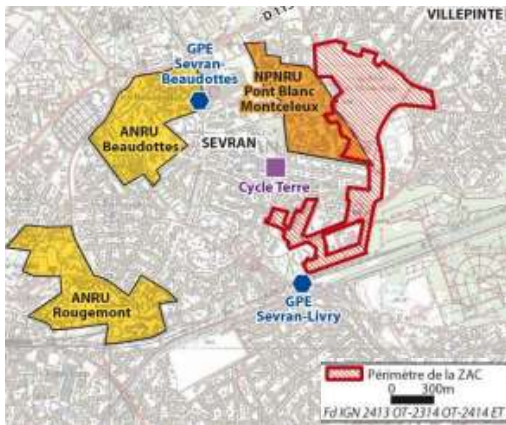
La ZAC Sevrans Terre d'Avenir et les projets qui ont vocation à s'y implanter sont identifiés comme de premiers bénéficiaires des matériaux de la fabrique.

Au sein du groupement de Cycle Terre, co-piloté par la Ville de Sevrans et par Grand Paris Aménagement, il s'agissait pour l'Université Gustave Eiffel d'évaluer les variations de métabolisme pour les projets d'aménagement de la ZAC Sevrans Terre d'Avenir, selon différents scénarii constructifs dont la construction en terre crue.



Crédits : Cycle Terre

### 2. Terrain étudié : la ZAC Sevrans Terre d'Avenir



Situation géographique de la ZAC Sevrans Terre d'Avenir (crédits : Sobeco Environnement ; Grand Paris Aménagement)

La ZAC Sevrans Terre d'Avenir est une opération d'aménagement (dont une partie en renouvellement urbain) au sein de la Ville de Sevrans. Elle sera livrée à l'horizon 2032<sup>1</sup>.

L'objet du projet est la constitution d'un quartier mixte: logements collectifs, bureaux, commerces, équipements sportifs et de loisir (parc nautique). Le parc de logements représente environ 85% de la surface à bâtir.

La ZAC se situe à proximité immédiate de la fabrique Cycle Terre (voir carte ci-contre). La ZAC est ainsi une bénéficiaire de choix des matériaux de la fabrique.

### 3. Analyse du métabolisme

#### 3.1. Méthode

L'étude de métabolisme de la ZAC Sevrans Terre d'Avenir est réalisée à partir de la méthodologie développée par Fernandez, Blanquart et al. (2018), à savoir la comparaison des stocks de matières avant et après le projet, complétée un volet spécifique à la terre crue développé pour ce projet. Ces stocks sont quantifiés sur la base de la typologie et de la surface des bâtiments. Plusieurs scénarii de construction

<sup>1</sup> L'analyse de métabolisme a porté sur le projet prévisionnel de 2020, qui a pu évoluer depuis.

sont envisagés : 1 scénario classique (béton prédominant, pas de terre crue) et 3 scénarios intégrant la terre crue selon des parts variables.

La conception de ces 3 scénarios se base sur les matériaux proposés par la fabrique. Les Briques en Terre Compressée (BTC), mises en œuvre avec du Mortier de Pose (MP), peuvent être utilisées en remplissage d'ossature extérieure et en cloison séparative. Les Panneaux d'Argile Extrudé (PAE) peuvent également être utilisés en cloisons distributives (intérieur).

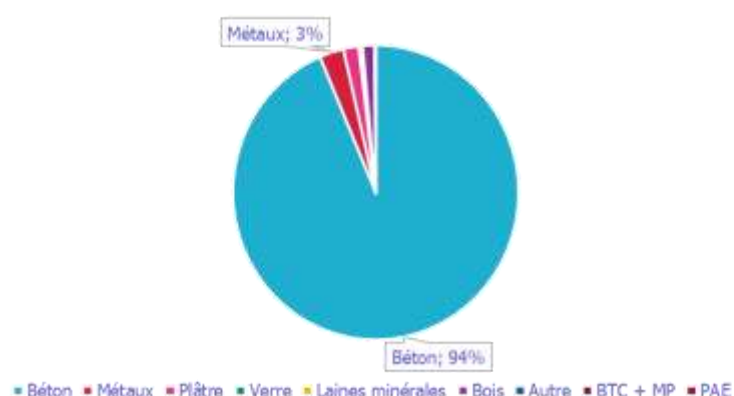
Les 3 scénarios intègrent la terre crue selon un niveau d'ambition croissant, avec les caractéristiques suivantes :

- Le **scénario minimum** utilise de manière ponctuelle des PAE en cloison distributive, ainsi que des BTC en cloison séparative ;
- Le **scénario moyen** étend l'utilisation des cloisons PAE et des BTC, et utilise partiellement des BTC en ossature extérieure ;
- Le **scénario optimal** maximise dans tous les bâtiments l'utilisation des PAE et BTC en cloisonnement et en ossature extérieure.

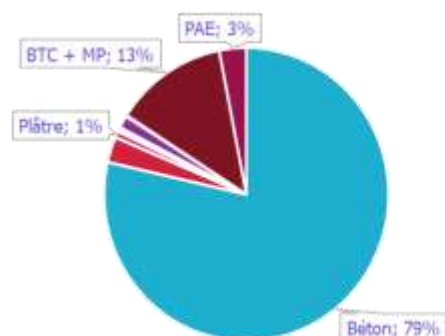
### 3.2. Résultats

La répartition massique des matériaux nécessaires à la construction de la ZAC est présentée pour les 4 scénarios dans les graphiques ci-dessous.

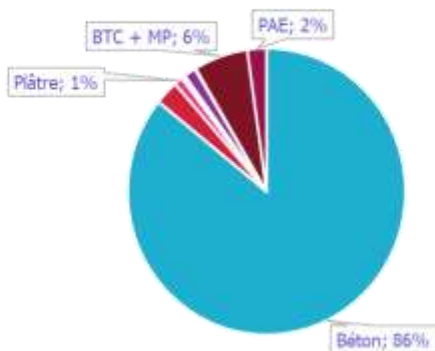
Consommation de matériaux, scénario classique



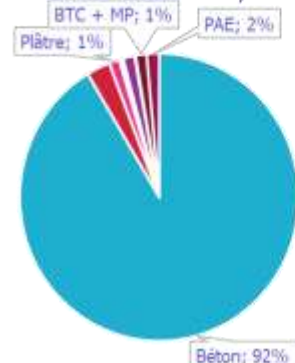
Consommation de matériaux, scénario optimal



Consommation de matériaux, scénario moyen



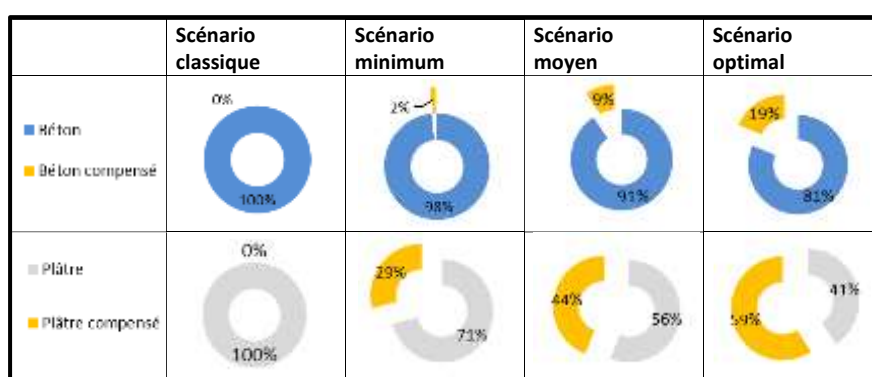
Consommation de matériaux, scénario mini.



La construction de la ZAC selon un scénario classique nécessite 262 689 tonnes de matériaux, dont 245 920 tonnes de béton. Le béton représente ainsi 94% des tonnages de matériaux nécessaires.

Le scénario optimal intègre 32 726 tonnes de BTC/MP et 7 808 tonnes de PAE, soit 16% des matériaux nécessaires à la construction de la ZAC. La part de terre crue dans le scénario moyen intègre 16 363 tonnes de BTC/MP et 5 791 tonnes de PAE, soit 8% des matériaux nécessaires. Le scénario minimum intègre 3394 tonnes de BTC/MP et 2 087 tonnes de PAE, soit 3% des matériaux nécessaires.

La terre crue étant une alternative au béton et au plâtre pour les applications identifiées plus haut, la part de ces derniers diminue avec l'intégration de terre crue dans le scénario constructif. Les graphiques ci-contre mettent en valeur pour chaque scénario les parts de béton et de plâtre compensées par de la terre crue, et ainsi économisées. On voit donc l'intérêt de tendre vers une utilisation optimale de la terre crue dans les processus constructifs, en termes de réduction des quantités de béton et de plâtre nécessaire. Le scénario optimal est ici encore maximisé par la proximité de la fabrique et des terres utilisables disponibles. Toutefois, en termes de réplcation à d'autres projets, cette question des distances d'approvisionnement doit être prise en compte pour compléter l'évaluation.



## 4. Évaluation des impacts logistiques

### 4.1 Méthode

L'évaluation des impacts logistiques de la construction de la ZAC consiste à estimer pour chaque scénario le coût (en €) et les émissions de gaz à effet de serre (en tonnes équivalent CO<sub>2</sub>) liés au transport des matériaux, de la zone d'approvisionnement des matériaux au chantier.

L'évaluation a été resserrée sur les deux matériaux principaux : le béton et les éléments en terre crue venant en substitution du béton (BTC+MP). Les zones potentielles d'approvisionnement ont ainsi été identifiées pour les granulats, le sable et le ciment, rentrant dans la composition du béton, ainsi que pour la terre et le sable, éléments principaux des matériaux en terre crue. La possibilité de desserte fluviale a été prise en compte pour le transport des granulats et du sable ; le transport de la terre se limite à la voie routière du fait de la courte distance à parcourir (gisements à moins de 15 km du chantier).

Trois stratégies logistiques ont été conçues en faisant varier le mode de transport (routier/fluvial) :

- Une stratégie 100 % **routière** ;
- Une stratégie **fluviale** (non-appliquée aux matériaux en terre crue) ;
- Une stratégie dite **réaliste** 68% routière / 32% fluviale, définie à partir des parts modales observées en Île-de-France pour le transport de granulats.

## 4.2 Résultats

Le coût et les émissions des stratégies logistiques pour chaque scénario de construction sont synthétisés dans les graphiques ci-dessous. Les émissions varient entre 3 533 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> pour un scénario « constructif classique avec une organisation logistique routière » et 2 444 tonnes pour un scénario « maximum d'intégration de la terre crue et une organisation logistique fluviale pour les matériaux restants ». Le coût varie pour sa part entre 3,6 millions € pour un scénario « constructif classique + logistique routière » et 1,5 millions € pour un scénario « maximum d'intégration de la terre crue + logistique fluviale ».



Globalement, la stratégie fluviale coûte moins cher et émet moins relativement à la stratégie routière ou mixte, et ce quel que soit le scénario de construction. Ce résultat est à nuancer car (1) le post-acheminement du fleuve jusqu'au chantier, devant être fait par la route, n'est pas pris en compte (2) les zones d'approvisionnement prises en compte sont toutes connectées au fleuve : dans les faits certaines zones d'approvisionnement plus proches peuvent exister et seront dans les faits privilégiées.

Pour les scénarios 100% routier et « réaliste », les avantages d'un scénario minimum d'intégration de terre crue en termes de coût et d'émissions logistiques sont négligeables (0 à 1% d'économie par rapport à un scénario classique). Le scénario moyen permet des économies en coût et émissions de 4 à 5%. Enfin, le scénario optimal est significativement plus performant que le scénario classique avec béton prédominant (9 à 10% d'économies, soit jusqu'à 370 000 € et 363 T eq. CO<sub>2</sub>).

Ces avantages des scénarios intégrant de la terre crue sont moindres sur un scénario 100% fluvial car celui-ci ne profite qu'au transport du sable et des granulats destinés au béton, et non aux matériaux des éléments en terre crue.

## 5. Conclusion

Le cas réel de la fabrique Cycle Terre appliquée au projet de ZAC Sevrans Terre d'Avenir permet d'enrichir une méthodologie d'évaluation du métabolisme urbain à l'échelle du chantier avec la prise en compte de la terre crue, en alternative au béton et au plâtre.

Si la terre crue ne permet pas un changement radical du métabolisme, au regard de ses applications limitées (pas incorporée dans les éléments structurels), elle peut tout de même représenter jusqu'à 16% des matériaux mobilisés dans un scénario optimal, réduisant à 79% la part du béton. Ce scénario est également réaliste en regard des capacités de production estimées de la fabrique cycle terre.

L'étude des impacts logistiques permet de confirmer la pertinence d'un approvisionnement des chantiers par la voie fluviale ; ces résultats seraient toutefois à consolider en prenant en compte la rupture de charge. Du fait de la proximité des zones d'approvisionnement et de la fabrique, l'intégration de terre crue, à condition d'être significative (scénarios moyen et optimal), permet également une amélioration de la performance logistique.

Des scénarios constructifs alternatifs pourraient être explorés : le bois pourrait être utilisé pour les éléments structurels en complément de la terre crue sous réserve du développement d'une filière nationale ou transfrontalière proche et d'un acheminement adapté pour limiter les impacts logistiques.