

# Rapport de projet GES

## Projet Laforest-Québec

Réalisé par  
Groupe Statera

Dans le cadre du Programme d'innovation en construction bois

13 décembre 2024



Stéphane Hallé, ing.

Groupe Statera inc.

Responsable du projet  
GES



Nicolas Constantin, ing.

Groupe Statera inc.

Responsable administratif de  
l'aide financière



Nicolas Constantin, ing.

Laforest-Québec, S.E.C.

Bénéficiaire de subvention

## **Avis de non-responsabilité**

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le bénéficiaire de subvention au Programme d'innovation en construction bois (Programme). Le ministère des Ressources Naturelles et des Forêts (MRNF), ainsi que le Plan pour une Économie Verte 2030 (PEV) ne sont pas responsables du contenu de ce document.

Chacune des sections de ce rapport est expliquée dans le *Protocole de quantification des émissions de gaz à effet de serre attribuables à la fabrication de matériaux de structure pour divers scénarios de bâtiments* (Protocole).

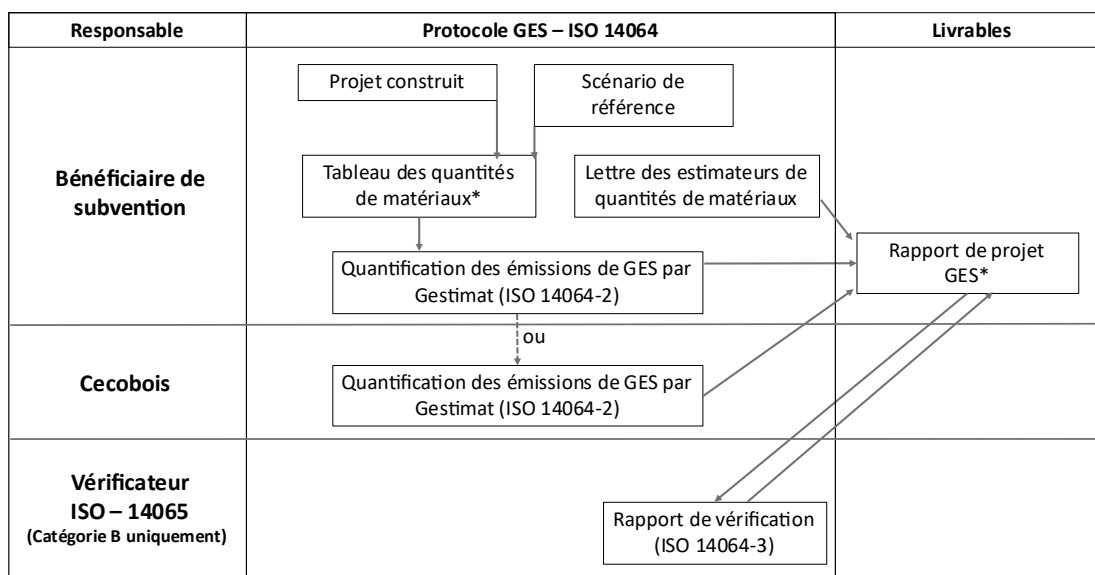
## Table des matières

|     |                                                                  |    |
|-----|------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Projet GES .....                                                 | 4  |
| 1.1 | Parties prenantes du Projet GES .....                            | 4  |
| 1.2 | Titre et lieu de réalisation du projet de construction .....     | 5  |
| 1.3 | Description du projet de construction .....                      | 5  |
| 1.4 | Description et justification du scénario de référence .....      | 6  |
| 1.5 | Données du projet GES.....                                       | 8  |
| 2.  | Quantification des émissions de GES.....                         | 8  |
| 2.1 | Scénario de référence .....                                      | 9  |
| 2.2 | Bâtiment réalisé (Scénario GES).....                             | 10 |
| 2.3 | Réduction des émissions de GES .....                             | 11 |
|     | Annexe 1 – Tableau des quantités de matériaux .....              | 13 |
|     | Annexe 2 – Lettre des estimateurs de quantités de matériaux..... | 17 |
|     | Annexe 3 – Rapport GESTIMAT .....                                | 18 |

# 1. Projet GES

## 1.1 Parties prenantes du Projet GES

- Bénéficiaire de subvention : *Laforest-Québec, S.E.C.*
- Responsable administratif de l'aide financière : Nicolas Constantin, ing., Groupe Statera
- Responsable – Rapport du projet GES : Stéphane Hallé, ing., Groupe Statera
- Responsable des estimations de quantités de matériaux:
  - Projet construit : Olivier Lessard, architecte -RÉGIS et Brian Mercier, ing - structure -EMS
  - Scénario de référence : Olivier Lessard, architecte -RÉGIS et Brian Mercier, ing - structure -EMS
- Responsable de la quantification des émissions de GES : Stéphane Hallé, ing. Groupe Statera avec le support de Chantal Lavigne-M.Sc.A- Analyste senior de Vertima
- Responsable de la vérification du rapport de projet GES : Non requis pour le volet A



\*Gabarits fournis par le MRNF

## 1.2 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Titre du projet : Laforest-Québec (construction multi-résidentielle et commerciale)

Lieu de réalisation : 3078, Chemin St-Louis, Québec (Québec), G1W 1R7

## 1.3 Description du projet de construction

### – Description du projet de construction

Le projet Laforest-Québec mise sur la construction d'un bâtiment à usages mixtes durable visant des engagements environnementaux importants, dont la conformité avec les exigences de la norme du bâtiment à carbone zéro - Design (BCZ-Design V3),, une première pour un bâtiment mixte de cette envergure au Québec. En cohérence avec les objectifs du gouvernement du Québec visant la création de milieux de vie durable encourageant l'innovation et la lutte contre les changements climatiques, le projet Laforest-Québec propose une construction neuve intégrant plusieurs innovations permettant d'atteindre ces objectifs communs. Il consiste à la construction d'un bâtiment structurant localisé à la tête-des-ponts sur le Chemin St-Louis à Québec, de treize (13) étages. Le bâtiment de Laforest-Québec est composé d'un basilaire de sept (7) étages et de deux (2) surhauteurs de six (6) étages. Il propose une prédominance de logements locatifs dont la répartition se définit avec un rez-de-chaussée commercial de 3995 m.ca et +/- 358 logements locatifs. La superficie totale de plancher du projet est de 37 428 m.ca.

### – Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

Tel que précisé précédemment, les objectifs du projet Laforest-Québec mise sur la construction d'un bâtiment durable visant des engagements environnementaux majeurs. Il est donc primordial de diminuer l'empreinte carbone du bâtiment, et sachant que les plus grands contributeurs de GES dans la construction de bâtiments de grande hauteur sont le béton et l'acier, nous nous sommes donnés comme objectif de remplacer ces composantes de façon à assurer facilement la répliquabilité dans l'industrie. L'objectif est donc de trouver dans quelles portions du bâtiment le bois pouvait remplacer le béton ou l'acier de façon efficace, simple et économique donc inévitablement répliquable par l'industrie.

La première innovation adresse le dernier étage d'un bâtiment de grande hauteur (de 13 étages) qui sera construit en bois massif alors qu'il est généralement construit en béton ou en acier étant les prémisses suivantes :

- Les premiers étages d'un bâtiment de grande hauteur sont en béton;
- Puisque le code du bâtiment ne permet pas de construire un dernier étage en bois si le bâtiment a plus que 2 étages en béton.

La 2<sup>e</sup> innovation visée est l'utilisation d'une enveloppe en ossature légère de bois en remplacement de l'enveloppe en structure d'acier ce qui en plus de diminuer l'impact carbone, est d'une utilité remarquable dans la performance énergétique du bâtiment. Cette 2<sup>e</sup> demande de mesure équivalente requiert une approbation de conformité avec la RBQ pour l'utilisation d'une composition de murs extérieurs en ossature légère de bois en lien avec la section D-6.1.1 du CNB 2020.

L'intégration des murs extérieurs en ossature légère en bois de la demande de mesure équivalente no2 aura pour effet d'augmenter significativement l'usage du bois dans les constructions de grandes envergures, en plus de réduire considérablement l'exécution au chantier et atteindre les objectifs communs de réduction des émissions de GES étant donné que l'efficacité en isolation du bois est de beaucoup supérieure que celle de l'acier qui est généralement utilisé dans l'enveloppe du bâtiment.

Les études requises au déploiement de ces innovations doivent prévoir une analyse des exigences applicables du Code de construction et des objectifs de sécurité à respecter. L'appui à l'équipe de professionnels par un expert en code aura pour objectif de démontrer l'équivalence de la solution de rechange sur ces exigences et objectifs. Les ingénieurs, architectes et professionnels du projet devront adapter leur conception pour inclure les structures de bois, les connexions avec les structures de béton, évaluer les solutions d'encapsulation du bois, adapter les méthodes d'installation des murs extérieurs préfabriqués, intégrer et optimiser la mécanique du bâtiment avec l'aménagement proposé.

Les résultats de cette première initiative associée aux demandes de mesure équivalente et à l'intégration dans la conception permettront à l'industrie d'incorporer ces innovations, connaître les défis techniques et ainsi réduire les risques liés à cette intégration dans la conception.

Quant aux activités de construction, les méthodes de préfabrication et de construction devront être développées pour assurer l'intégration de ces innovations dans la construction du bâtiment.

L'équipe devra également optimiser les méthodes pour ultimement rendre les coûts comparable aux méthodes traditionnelles et ainsi aider à la démocratisation des méthodes et ultimement, augmenter l'utilisation du bois dans l'objectif de diminuer l'émission de GES dans la construction des bâtiments de grande hauteur.

## **1.4 Description et justification du scénario de référence**

Le projet de référence est établi avec un scénario hypothétique, défini au démarrage du projet, qui représente au mieux les conditions les plus vraisemblables en l'absence du projet GES, c'est-à-dire le projet de construction du bâtiment sans aucun effort de réduction des GES associés au choix des matériaux et des méthodes de construction. Dans notre situation, le scénario de référence demeure une structure de béton standard dans l'industrie du bâtiment de grande hauteur réalisée dans la ville de Québec. Cette définition du scénario de référence a été élaborée lors de la première itération de l'analyse du cycle de vie dans le cadre de la certification BCZ Design V3 visée par le projet Laforest-Québec. Les architectes et ingénieurs ont défini les paramètres du scénario de référence en collaboration avec les spécialistes de la firme Vertima, chargée de cette analyse du cycle de vie. L'évaluation des quantités de structure a été réalisée par une modélisation pour le scénario de référence et le scénario GES, assurant ainsi une précision dans l'établissement des quantités de matériaux de structure.

Le scénario de référence et le scénario du projet GES présentent la même géométrie, un nombre d'étages similaire, et sont conçus pour la même utilisation que le projet GES, c'est-à-dire, des unités résidentielles et un rez-de-chaussée commercial. En effet, le scénario de référence prend en compte 352 logements et 7 commerces, tout comme le scénario du projet GES, à l'exception de 6 logements supplémentaires dans ce dernier. Les différences de superficies de plancher, excluant les superficies de stationnement souterrain (scénario de référence : 31 500 m<sup>2</sup>, scénario GES : 37 428 m<sup>2</sup>)

n'impactent pas de manière notable ou significative le nombre de logements et leur configuration. La différence de superficie est plutôt attribuable à des stratégies de réduction des GES qui se sont matérialisées dans le scénario du projet GES. L'une de ces stratégies a été de réduire de moitié le sous-sol 4 et d'agrandir l'empreinte des autres sous-sols. Cela a permis, entre autres, de diminuer les quantités de structure de béton grâce à une structure optimisée. Cette stratégie a conduit à une légère augmentation de l'empreinte des étages résidentiels, puisque la trame structurale a été ajustée. Cela a permis de maximiser le ratio enveloppe/superficie de plancher, et ainsi de réduire le bilan GES/m<sup>2</sup> du projet. Les deux autres principales stratégies mises en place entre le scénario de référence et le scénario du projet GES sont l'intégration de murs extérieurs en ossature légère de bois et le remplacement de la structure de béton du 13<sup>e</sup> étage par une structure en bois massif.

La hauteur libre nette demeure équivalente pour tous les scénarios. La structure en bois massif étant prévue pour le 13<sup>e</sup> et dernier étage, la hauteur libre nette du projet GES reste donc équivalente à celle du scénario de référence.

Pour ces raisons, le scénario de référence est défini comme un scénario approprié.

En complément à cette démarche et conformément au protocole de quantification des GES du MRNF, un test de barrière a également été établi afin de montrer les principaux arguments pour le choix de l'option béton comme scénario de référence.

*Tableau 1. Test de barrières*

| <b>Obstacles</b>                   | <b>Option 1<br/>Scénario de référence</b>                    | <b>Option 2<br/>Projet de construction<br/>(projet GES)</b>                                 |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Règlementaire                      | Accepté dans le Code de construction du Québec               | Requiert acceptation de deux demandes de mesure équivalente auprès de la RBQ                |
| Pratique courante                  | Oui                                                          | Non                                                                                         |
| Financier                          | Pratique courant, établit selon les prix du marché.          | Plus d'incertitude sur l'estimation des coûts avec l'intégration de solutions innovantes    |
| Technologique                      | Pratique courante                                            | Un risque technologique demeure présent par l'intégration de ces innovations dans le projet |
| Ressources humaines                | Pratique courante                                            | Nécessite des connaissances et compétences techniques spécifiques                           |
| Infrastructure                     | Aucune problématique d'infrastructure avec ce type de projet | Aucune problématique d'infrastructure avec ce type de projet                                |
| Culturel, géographique, climatique | Pratique courante                                            | Contexte d'un premier projet                                                                |

| Obstacles                         | Option 1<br>Scénario de référence | Option 2<br>Projet de construction<br>(projet GES)                                                                                       |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Marché                            | Pratique courante                 | Adaptation de l'industrie à un projet de grande hauteur (préfabrication)                                                                 |
| Institution, perception du public | Pratique courante                 | Une première dans l'industrie.<br>Perception sur des enjeux sur l'étanchéité en construction et sur l'exécution des travaux en chantier. |

## 1.5 Données du projet GES

L'évaluation des matériaux de construction pour chacun des systèmes constructifs sont présentés dans le tableau de quantités de matériaux de l'annexe 1. Ces quantités évaluées par les ingénieurs et architectes du projet ont été réalisées, tel que précisé précédemment, par modélisation des 2 scénarios étudiés assurant une précision pour l'évaluation de ces quantités.

L'intégration du bois dans les solutions innovantes sont représentés par le remplacement de la structure de béton par une structure de bois massif au 13<sup>e</sup> et dernier étage du bâtiment ainsi qu'au remplacement des colombages métalliques des murs extérieurs par une enveloppe extérieure en ossature légère de bois. Le volume total de bois dans le projet, pour les éléments structuraux évalués dans le présent programme, est de **781 m.cube**.

| VOLUME TOTAL DE BOIS DANS LE<br>PROJET<br><br>(m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------------------------------|
| 781                                                             |

## 2. Quantification des émissions de GES

La quantification des émissions de GES est évaluée avec le logiciel GESTIMAT selon les quantités définies par les professionnels du projet du scénario de référence et du projet GES. L'évaluation des quantités a été établie selon des plans (avancement 75%) pour le scénario GES. L'évaluation a été faite par modélisation avec le logiciel REVIT et le logiciel d'éléments finis SAFE de la suite CSI. Les frontières du système pour définir la quantification de la réduction des émissions de GES évaluent les matériaux de structure et d'ossature des murs extérieurs. Les quantités de GES des deux

scénarios analysés sont présentés dans le tableau qui suit. Les résultats issus de l'analyse dans GESTIMAT est présenté à l'annexe 3 et détaillés dans les sections qui suivent.

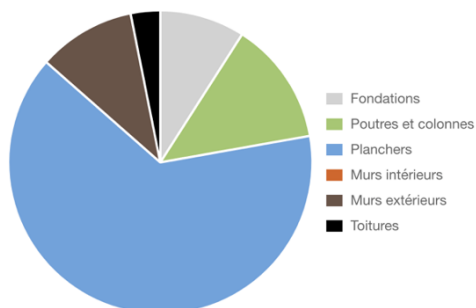
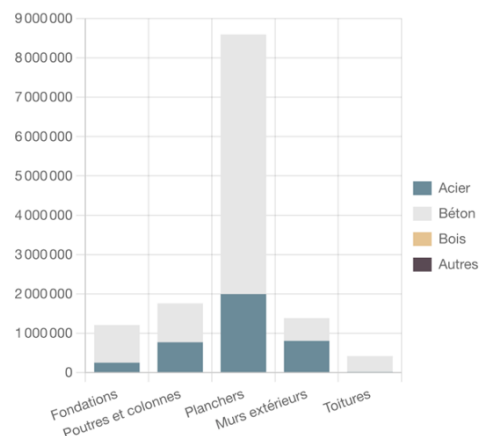
| ÉMISSIONS GES DU<br>SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE<br><br>(kg éq. CO <sub>2</sub> ) | ÉMISSIONS GES DU<br>PROJET GES<br><br>(kg éq. CO <sub>2</sub> ) | RÉDUCTION DES<br>ÉMISSIONS GES<br><br>(kg éq. CO <sub>2</sub> ) |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 13 372 127                                                                 | 12 551 925                                                      | 820 202                                                         |

| ÉMISSIONS GES DU<br>SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE<br><br>(kg éq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) | ÉMISSIONS GES DU<br>PROJET GES<br><br>(kg éq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) | RÉDUCTION DES<br>ÉMISSIONS GES<br><br>(kg éq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 425                                                                                        | 335                                                                             | 89                                                                              |

## 2.1 Scénario de référence

Les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du scénario de référence sont estimées à 13 372 127 kg éq. CO<sub>2</sub>. Il est important de prendre en considération que le logiciel GESTIMAT utilise une seule superficie de référence, soit le 37 428 m.ca du scénario GES alors que la superficie de plancher du scénario de référence est de 31 500m.ca. Il faut donc ajuster le résultat de l'analyse avec cette superficie, soit 13 372 127 kg éq. CO<sub>2</sub> / 31 500m.ca = **425 kg éq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de plancher** au lieu du 357 kg éq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> présenté dans les résultats du tableau.

Répartition des émissions de GES

Émissions de GES (kg éq. CO<sub>2</sub>)Émissions de GES (kg éq. CO<sub>2</sub>)

|                     | Acier            | Béton            | Bois     | Autres   | Total          | %            |
|---------------------|------------------|------------------|----------|----------|----------------|--------------|
| Fondations          | 253 600          | 955 865          | 0        | 0        | 1 209 465      | 9 %          |
| Poutres et colonnes | 773 480          | 986 440          | 0        | 0        | 1 759 920      | 13,2 %       |
| Planchers           | 1 996 846        | 6 597 820        | 0        | 0        | 8 594 666      | 64,3 %       |
| Murs intérieurs     | 0                | 0                | 0        | 0        | 0              | 0 %          |
| Murs extérieurs     | 808 591          | 578 877          | 0        | 0        | 1 387 468      | 10,4 %       |
| Toitures            | 20 288           | 400 320          | 0        | 0        | 420 608        | 3,1 %        |
| <b>Total</b>        | <b>3 852 805</b> | <b>9 519 322</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>1,34e+7</b> | <b>100 %</b> |
| GES par m²          | 103              | 254              | 0        | 0        | 357            |              |

Superficie totale de plancher: 37428 m²

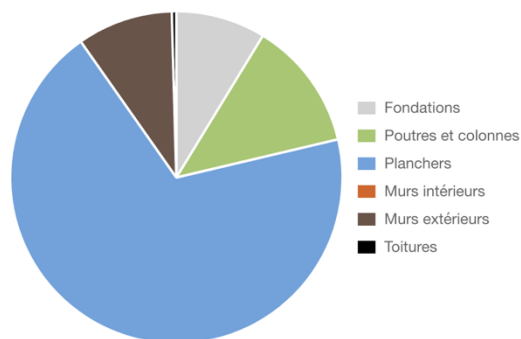
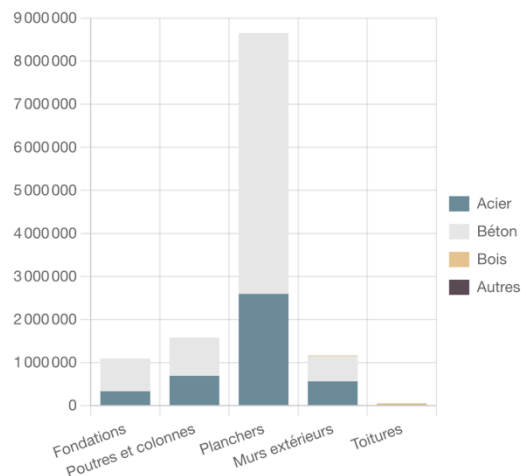
Figure 1 : Émission de GES attribuables à la structure du scénario de référence

## 2.2 Bâtiment réalisé (Scénario GES)

Les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du bâtiment réalisé sont estimées à 12 551 925 kg éq. CO<sub>2</sub>, soit 335 kg éq. CO<sub>2</sub>/m² de plancher. Les résultats détaillés sont présentés à l'annexe 3.

Le principal contributeur de GES sont les planchers de béton, qui constitue près de 68,9% de GES, soit 8 652 752 kg éq. CO<sub>2</sub>. Les solutions innovantes proposées ont contribué à l'ajout du bois dans les systèmes constructifs des murs extérieurs et dans la toiture.

Répartition des émissions de GES

Émissions de GES (kg éq. CO<sub>2</sub>)Émissions de GES (kg éq. CO<sub>2</sub>)

|                              | Acier            | Béton            | Bois          | Autres   | Total          | %            |
|------------------------------|------------------|------------------|---------------|----------|----------------|--------------|
| Fondations                   | 333 484          | 761 620          | 0             | 0        | 1 095 104      | 8,7 %        |
| Poutres et colonnes          | 692 328          | 887 704          | 0             | 0        | 1 580 032      | 12,6 %       |
| Planchers                    | 2 595 596        | 6 057 156        | 0             | 0        | 8 652 752      | 68,9 %       |
| Murs intérieurs              | 0                | 0                | 0             | 0        | 0              | 0 %          |
| Murs extérieurs              | 564 334          | 589 200          | 15 390        | 0        | 1 168 924      | 9,3 %        |
| Toitures                     | 20 145           | 0                | 34 968        | 0        | 55 113         | 0,44 %       |
| <b>Total</b>                 | <b>4 205 887</b> | <b>8 295 680</b> | <b>50 358</b> | <b>0</b> | <b>1,26e+7</b> | <b>100 %</b> |
| <b>GES par m<sup>2</sup></b> | <b>112</b>       | <b>222</b>       | <b>1</b>      | <b>0</b> | <b>335</b>     |              |

Superficie totale de plancher: 37428 m<sup>2</sup>

Figure 2 : Émission de GES attribuables à la structure du bâtiment réalisé

## 2.3 Réduction des émissions de GES

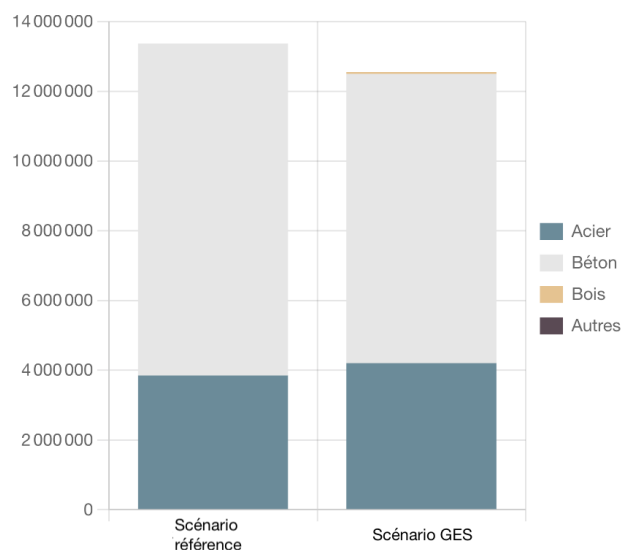
Le scénario du bâtiment réalisé démontre un effort important de réduction des GES par rapport au scénario de référence attribuables à la fabrication des matériaux de structure. La diminution est de 820 202 kg éq. CO<sub>2</sub> équivalant à une diminution de 89 kg éq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de plancher, soit un pourcentage de réduction de 6,1% en termes de GES absolu et 21,2% en termes d'intensité carbone. Les résultats détaillés sont présentés à l'annexe 3.

Sur cette diminution globale de GES, la solution innovante remplaçant la structure de béton du 13<sup>e</sup> étage par une structure de bois contribue à elle seule à une diminution de 365 495 kg éq. CO<sub>2</sub>, soit 44,6% de la diminution globale des GES par rapport au scénario de référence.

Les optimisations complémentaires pour réduire les GES correspondent à un effort de diminuer le béton dans la structure du bâtiment par rapport au scénario de référence et la substitution des

colombages métalliques par des colombages de bois. Les résultats des émissions de GES par matériaux et par système constructif sont présentés à la figure 3 ci-après.

Émissions de GES par matériau (kg éq. CO<sub>2</sub>)



Émissions de GES par système constructif (kg éq. CO<sub>2</sub>)

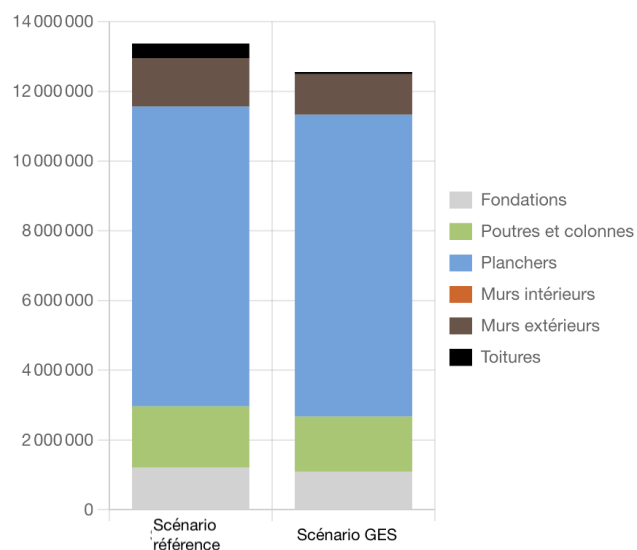


Figure 3 : Comparaison des émissions de GES attribuables à la structure du scénario de référence et du scénario GES

# Annexe 1 – Tableau des quantités de matériaux

## Scénario de référence

| QUANTITÉ DE MATÉRIAUX      |          |       | INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES |                                                                                   |
|----------------------------|----------|-------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Matériau                   | Quantité | Unité | Méthode d'estimation         | Commentaires<br>(ex. informations sur le matériau, justification de la précision) |
| <b>Fondations</b>          |          |       |                              |                                                                                   |
| Béton 25 MPa               | 55       | m³    | Modèle 3D                    | Semelle filante                                                                   |
| Barres d'armature          | 16       | t     | Modèle 3D                    | Semelle filante                                                                   |
| Béton 30 MPa               | 1514     | m³    | Modèle 3D                    | Semelles isolées et radiers                                                       |
| Barres d'armature          | 77       | t     | Modèle 3D                    | Semelles isolées et radiers                                                       |
| Béton 25 MPa               | 1510     | m³    | Modèle 3D                    | Murs de fondation                                                                 |
| Barres d'armature          | 107      | t     | Modèle 3D                    | Murs de fondation                                                                 |
| Béton 15 MPa               | 300      |       | Modèle 3D                    | béton maigre 10MPa                                                                |
| <b>AJOUTER</b>             |          |       |                              |                                                                                   |
| <b>Poutres et colonnes</b> |          |       |                              |                                                                                   |
| Béton 50 MPa               | 969      | m³    | Modèle 3D                    | colonnes 45MPa                                                                    |
| Barres d'armature          | 178      | t     | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| Béton 50 MPa               | 1216     | m³    | Modèle 3D                    | colonnes 40MPa                                                                    |
| Barres d'armature          | 279      | t     | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| Béton 30 MPa               | 843      | m³    | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| Barres d'armature          | 153      | t     | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| <b>AJOUTER</b>             |          |       |                              |                                                                                   |
| <b>Planchers</b>           |          |       |                              |                                                                                   |
| Béton 30 MPa               | 996      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 13                                                                         |
| Barres d'armature          | 70,6     | t     | Modèle 3D                    | Niveau 13                                                                         |
| Béton 30 MPa               | 996      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 12                                                                         |
| Barres d'armature          | 70,6     | t     | Modèle 3D                    | Niveau 12                                                                         |
| Béton 30 MPa               | 996      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 11                                                                         |
| Barres d'armature          | 70,6     | t     | Modèle 3D                    | Niveau 11                                                                         |
| Béton 30 MPa               | 996      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 10                                                                         |
| Barres d'armature          | 70,6     | t     | Modèle 3D                    | Niveau 10                                                                         |
| Béton 30 MPa               | 996      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 9                                                                          |
| Barres d'armature          | 70,6     | t     | Modèle 3D                    | Niveau 9                                                                          |
| Béton 30 MPa               | 901      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 8                                                                          |
| Barres d'armature          | 70,6     | t     | Modèle 3D                    | Niveau 8                                                                          |
| Béton 30 MPa               | 1312     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 7, incluant portion de toiture (équivalente à 177m.cu)                     |
| Barres d'armature          | 96       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 7, incluant portion de toiture (équivalente à 14 tonnes)                   |
| Béton 30 MPa               | 1135     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 6                                                                          |

| QUANTITÉ DE MATÉRIAUX |          |       | INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES |                                                                                      |
|-----------------------|----------|-------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Matériau              | Quantité | Unité | Méthode d'estimation         | Commentaires<br>(ex. informations sur le matériau, justification de la précision)    |
| Barres d'armature     | 81       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 6                                                                             |
| Béton 30 MPa          | 1135     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 5                                                                             |
| Barres d'armature     | 81       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 5                                                                             |
| Béton 30 MPa          | 1135     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 4                                                                             |
| Barres d'armature     | 81       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 4                                                                             |
| Béton 30 MPa          | 1135     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 3                                                                             |
| Barres d'armature     | 81       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 3                                                                             |
| Béton 30 MPa          | 1135     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 2                                                                             |
| Barres d'armature     | 81       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 2                                                                             |
| Béton 30 MPa          | 2383     | m³    | Modèle 3D                    | RDC, incluant portion du toiture RDC (équivalente à 509 m.cu)                        |
| Barres d'armature     | 189,2    | t     | Modèle 3D                    | RDC, incluant portion du toiture RDC (équivalente à 40 tonnes)                       |
| Béton 35 MPa          | 1863     | m³    | Modèle 3D                    | SS1                                                                                  |
| Barres d'armature     | 149      | t     | Modèle 3D                    | SS1                                                                                  |
| Béton 35 MPa          | 1863     | m³    | Modèle 3D                    | SS2                                                                                  |
| Barres d'armature     | 149      | t     | Modèle 3D                    | SS2                                                                                  |
| Béton 35 MPa          | 1863     | m³    | Modèle 3D                    | SS3                                                                                  |
| Barres d'armature     | 149      | t     | Modèle 3D                    | SS3                                                                                  |
| Béton 35 MPa          | 34       | m³    | Modèle 3D                    | SS4                                                                                  |
| Barres d'armature     | 3,2      | t     | Modèle 3D                    | SS4                                                                                  |
| Béton 35 MPa          | 102      | m³    | Modèle 3D                    | Escalier                                                                             |
| Barres d'armature     | 10       | t     | Modèle 3D                    | Escalier                                                                             |
| AJOUTER               |          |       |                              |                                                                                      |
| Toiture               |          |       |                              |                                                                                      |
| Béton 30 MPa          | 1251     | m³    | Modèle 3D                    | Toit du niveau 13                                                                    |
| Barres d'armature     | 16       | t     | Modèle 3D                    | Toit du niveau 13                                                                    |
| AJOUTER               |          |       |                              |                                                                                      |
| Murs extérieurs       |          |       |                              |                                                                                      |
| Béton 25 MPa          | 33       | m³    | Modèle 3D                    | Murs basilaires                                                                      |
| Barres d'armature     | 9,9      | t     | Modèle 3D                    | Murs basilaires                                                                      |
| Béton 35 MPa          | 1900     | m³    | Modèle 3D                    | Murs de refend                                                                       |
| Barres d'armature     | 78,6     | t     | Modèle 3D                    | Murs de refend                                                                       |
| Montant métallique    | 92       | t     | Modèle 3D                    | Colombage métallique -Ce calcul a été fait sans enlever la superficie des ouvertures |
| Autres                | 184000   | kg    | Modèle 3D                    | Fourrure métallique                                                                  |

## Scénario GES

| QUANTITÉ DE MATÉRIAUX |          |       | INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES |                                                                                   |
|-----------------------|----------|-------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Matériau              | Quantité | Unité | Méthode d'estimation         | Commentaires<br>(ex. informations sur le matériau, justification de la précision) |
| Béton 30 MPa          | 741      | m³    | Modèle 3D                    | Semelle isolées et radiers                                                        |
| Barres d'armature     | 76       | t     | Modèle 3D                    | Semelle isolées et radiers                                                        |
| Béton 25 MPa          | 1700     | m³    | Modèle 3D                    | Semelles de fondation                                                             |
| Barres d'armature     | 187      | t     | Modèle 3D                    | Semelles de fondation                                                             |
| Béton 15 MPa          | 400      | m³    | Modèle 3D                    | béton maigre 10MPa                                                                |
| AJOUTER               |          |       |                              |                                                                                   |
| Poutres et colonnes   |          |       |                              |                                                                                   |
| Béton 50 MPa          | 1118     | m³    | Modèle 3D                    | colonnes -béton 45MPa                                                             |
| Barres d'armature     | 280      | t     | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| Béton 35 MPa          | 430      | m³    | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| Barres d'armature     | 82       | t     | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 1225     | m³    | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| Barres d'armature     | 184      | t     | Modèle 3D                    | colonnes                                                                          |
| AJOUTER               |          |       |                              |                                                                                   |
| Planchers             |          |       |                              |                                                                                   |
| Béton 30 MPa          | 757      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 13                                                                         |
| Barres d'armature     | 98       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 13                                                                         |
| Béton 30 MPa          | 656      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 12                                                                         |
| Barres d'armature     | 79       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 12                                                                         |
| Béton 30 MPa          | 656      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 11                                                                         |
| Barres d'armature     | 66       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 11                                                                         |
| Béton 30 MPa          | 656      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 10                                                                         |
| Barres d'armature     | 66       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 10                                                                         |
| Béton 30 MPa          | 656      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 9                                                                          |
| Barres d'armature     | 66       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 9                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 1220     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 8                                                                          |
| Barres d'armature     | 122      | t     | Modèle 3D                    | Niveau 8                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 983      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 7                                                                          |
| Barres d'armature     | 99       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 7                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 983      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 6                                                                          |
| Barres d'armature     | 99       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 6                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 983      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 5                                                                          |
| Barres d'armature     | 99       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 5                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 983      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 4                                                                          |
| Barres d'armature     | 99       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 4                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 983      | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 3                                                                          |
| Barres d'armature     | 99       | t     | Modèle 3D                    | Niveau 3                                                                          |
| Béton 30 MPa          | 1281     | m³    | Modèle 3D                    | Niveau 2                                                                          |

| QUANTITÉ DE MATÉRIAUX    |          |       | INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES |                                                                                      |
|--------------------------|----------|-------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Matériau                 | Quantité | Unité | Méthode d'estimation         | Commentaires<br>(ex. informations sur le matériau, justification de la précision)    |
| Barres d'armature        | 128      | t     | Modèle 3D                    | Niveau 2                                                                             |
| Béton 30 MPa             | 1908     | m³    | Modèle 3D                    | RDC                                                                                  |
| Barres d'armature        | 209      | t     | Modèle 3D                    | RDC                                                                                  |
| Béton 35 MPa             | 2560     | m³    | Modèle 3D                    | SS1                                                                                  |
| Barres d'armature        | 282      | t     | Modèle 3D                    | SS1                                                                                  |
| Béton 35 MPa             | 2560     | m³    | Modèle 3D                    | SS2                                                                                  |
| Barres d'armature        | 280      | t     | Modèle 3D                    | SS2                                                                                  |
| Béton 35 MPa             | 1060     | m³    | Modèle 3D                    | SS3                                                                                  |
| Barres d'armature        | 117      | t     | Modèle 3D                    | SS3                                                                                  |
| Béton 35 MPa             | 122      | m³    | Modèle 3D                    | SS4                                                                                  |
| Barres d'armature        | 11,4     | t     | Modèle 3D                    | SS4                                                                                  |
| Béton 20 MPa             | 108      | m³    | Modèle 3D                    | dalle de propreté                                                                    |
| Béton 35 MPa             | 108      | m³    | Modèle 3D                    | ouvrage extérieur                                                                    |
| Barres d'armature        | 5        | t     | Modèle 3D                    | dalle de propreté                                                                    |
| Barres d'armature        | 8,7      | t     | Modèle 3D                    | ouvrage extérieur                                                                    |
| Béton 35 MPa             | 145      | m³    | Modèle 3D                    | Escalier                                                                             |
| Barres d'armature        | 14       | t     | Modèle 3D                    | Escalier                                                                             |
| AJOUTER                  |          |       |                              |                                                                                      |
| Toiture                  |          |       |                              |                                                                                      |
| CLT                      | 496      | m³    | Modèle 3D                    | Toit du niveau 13 (poutre et platelage)                                              |
| Plaques d'acier épaisses | 8500     | kg    | Modèle 3D                    | Toit du niveau 13 (connecteur pour poutre et platelage)                              |
| AJOUTER                  |          |       |                              |                                                                                      |
| Murs extérieurs          |          |       |                              |                                                                                      |
| Béton 25 MPa             | 0        | m³    | Modèle 3D                    | Murs basilaires                                                                      |
| Barres d'armature        | 0        | t     | Modèle 3D                    | Murs basilaires                                                                      |
| Béton 35 MPa             | 1852     | m³    | Modèle 3D                    | Murs de refend                                                                       |
| Barres d'armature        | 254      | t     | Modèle 3D                    | Murs de refend                                                                       |
| Montant métallique       | 19       | t     | Modèle 3D                    | Colombage métallique -Ce calcul a été fait sans enlever la superficie des ouvertures |
| Bois d'œuvre             | 285      | m³    | Modèle 3D                    | Colombage en bois -Ce calcul a été fait sans enlever la superficie des ouvertures    |
| Béton 30 MPa             | 105      | m³    | Modèle 3D                    | Bassin de rétention                                                                  |
| Barres d'armature        | 6,5      | t     | Modèle 3D                    | Bassin de rétention                                                                  |
| Autres                   | 68000    | kg    | Modèle 3D                    | Fourrure métallique                                                                  |

## **Annexe 2 – Lettre des estimateurs de quantités de matériaux**

Québec, le 04 décembre 2024

PAR COURRIER ÉLECTRONIQUE : [nicolas.constantin@statera.dev](mailto:nicolas.constantin@statera.dev)

Monsieur Nicolas Constantin  
Président  
**La Forest inc.**  
Montréal (Québec)

Objet : Laforest – Québec – Structure – Confirmation des quantités de matériaux  
Notre référence : S23-078

Bonjour,

Dans le cadre du projet LaForest-Québec, nous avons élaboré un scénario de référence et un scénario hybride béton-bois (scénario GES) dont nous avons faire l'ingénierie et déterminer les quantités de matériaux.

Par la présente, nous confirmons avoir effectué l'évaluation des quantités de matériaux des scénarios susmentionnées. Les analyses structurales ont été effectués avec le logiciel d'éléments finis SAFE, de la suite CSI. Suivant ces analyses, l'évaluation des quantités de matériaux ci-après ont été estimé pour une structure de béton comparable (scénario de référence) à la structure hybride béton-bois (scénario GES).

Espérant le tout à votre entière satisfaction, nous vous prions d'agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

A handwritten signature in blue ink that reads "Brian Mercier" followed by a checkmark.

Brian Mercier, ing.

p.j.

## Structure – Quantités de matériaux – Scénario de référence et scénario GES

| Description                | Scénario de référence | unité | Scénario GES | unité |
|----------------------------|-----------------------|-------|--------------|-------|
| <b>Fondations</b>          |                       |       |              |       |
| Béton                      | 3379                  | m.cu  | 2841         | m.cu  |
| Acier d'armature           | 200                   | tonne | 263          | tonne |
| <b>Poutres et colonnes</b> |                       |       |              |       |
| Béton                      | 3028                  | m.cu  | 2773         | m.cu  |
| Acier d'armature           | 610                   | tonne | 546          | tonne |
| <b>Planchers</b>           |                       |       |              |       |
| Béton                      | 20290                 | m.cu  | 19368        | m.cu  |
| Acier d'armature           | 1520                  | tonne | 2047         | tonne |
| <b>Murs extérieurs</b>     |                       |       |              |       |
| Béton                      | 1933                  | m.cu  | 1957         | m.cu  |
| Acier d'armature           | 88.5                  | tonne | 260.5        | tonne |
| <b>Toiture</b>             |                       |       |              |       |
| Béton                      | 1937                  | m.cu  | 0            | m.cu  |
| Acier d'armature           | 70                    | tonne | 0            | tonne |
| Bois CLT                   | 0                     | m.cu  | 496          | m.cu  |
| Plaque acier               | 0                     | kg    | 8500         | kg    |
| <b>Acier divers</b>        | 0                     | tonne | 93           | tonne |



N/D 5211  
2024-12-12

## Laforest-Québec – Architecture – Confirmation des quantités de matériaux

Bonjour,

Dans le cadre du projet Laforest-Québec, nous avons élaboré un scénario de référence et un scénario d'optimisation des GES dont nous avons fait la conception des plans et devis. À travers ce travail, nous avons été chargé de déterminer les quantités de matériaux.

Ainsi, nous confirmons avoir effectué l'évaluation des quantités de matériaux des scénarios susmentionnés. Les scénarios ont été modélisés à l'aide du logiciel REVIT à partir duquel des quantités ont été extraites et comptabilisées pour effectuer les analyses de cycle de vie en collaboration avec Vertima et EMS du scénario de référence (murs extérieurs en colombages métalliques) et du scénario du projet GES (murs extérieurs en colombages de bois).

Espérant le tout à votre entière satisfaction, nous vous prions d'agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

### Scénario de référence

| Composante | Quantité | Unité      | Matériaux | Quantité | Unité  |
|------------|----------|------------|-----------|----------|--------|
| Colombage  | 48 591   | m linéaire | Acier     | 92       | tonnes |
| Fourniture | 104 187  | m linéaire | Acier     | 182      | tonnes |
| Barre Z    | 1 163    | m linéaire | Acier     | 2        | tonnes |

### Scénario GES

| Composante | Quantité | Unité      | Matériaux | Quantité | Unité  |
|------------|----------|------------|-----------|----------|--------|
| Colombage  | 7 699    | m linéaire | Acier     | 19       | tonnes |
| Fourniture | 33 198   | m linéaire | Acier     | 29       | tonnes |

Laforest – Québec  
3078 Chemin Saint-Louis, Québec (QC)  
Statera inc.



N/D 5211  
2024-12-12

|                                 |        |            |       |     |        |
|---------------------------------|--------|------------|-------|-----|--------|
| Oméga<br>système de<br>fixation | 45 810 | m linéaire | Acier | 39  | tonnes |
| Colombage<br>bois               | 53 535 | m linéaire | Bois  | 285 | m3     |

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Olivier Lessard'.

2024-12-13

Olivier Lessard, architecte

**RÉGIS**  
Québec, le 12 décembre 2024

## **Annexe 3 – Rapport GESTIMAT**

Rapport sommaire de l'analyse comparative des scénarios

Informations du projet

|                  |                  |                        |                                                                 |
|------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Nom du projet    | Laforest -Québec | Type de projet         | Construction neuve                                              |
| Numéro du projet | 001              | Type de bâtiment       | Habitation (multiétagées , logements sociaux , auberges , etc.) |
| Catalogue        | Québec           |                        |                                                                 |
| Emplacement      | -                | Nombre d'étages        | 13                                                              |
| Année prévue     | 2024             | Superficie totale (m²) | 37428                                                           |
| Budget prévu     | 115000000        | Superficie au sol (m²) | 3065                                                            |
|                  |                  | Version de l'analyse   | -                                                               |

Description :

-

Scénarios analysés

|            | Nom                   | GES<br>totales<br>(kg éq.<br>CO <sub>2</sub> ) | Description                                                                                               |
|------------|-----------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scénario 1 | Scénario de référence | 1,34e +7                                       | Structure de béton traditionnelle                                                                         |
| Scénario 2 | Scénario projet GES   | 1,26e +7                                       | Structure de béton avec 13e et dernier étage en bois massif et murs extérieurs en ossature légère en bois |

Scénario retenu

|                       | Numéro | Type de structure   | Émissions GES<br>(kg éq. CO <sub>2</sub> ) |
|-----------------------|--------|---------------------|--------------------------------------------|
| Scénario de référence | 1      | Béton               | 1,34e +7                                   |
| Scénario retenu       | 2      | Hybride béton -bois | 1,26e +7                                   |

Émissions de GES évitées: 820 202

## Comparaison des scénarios

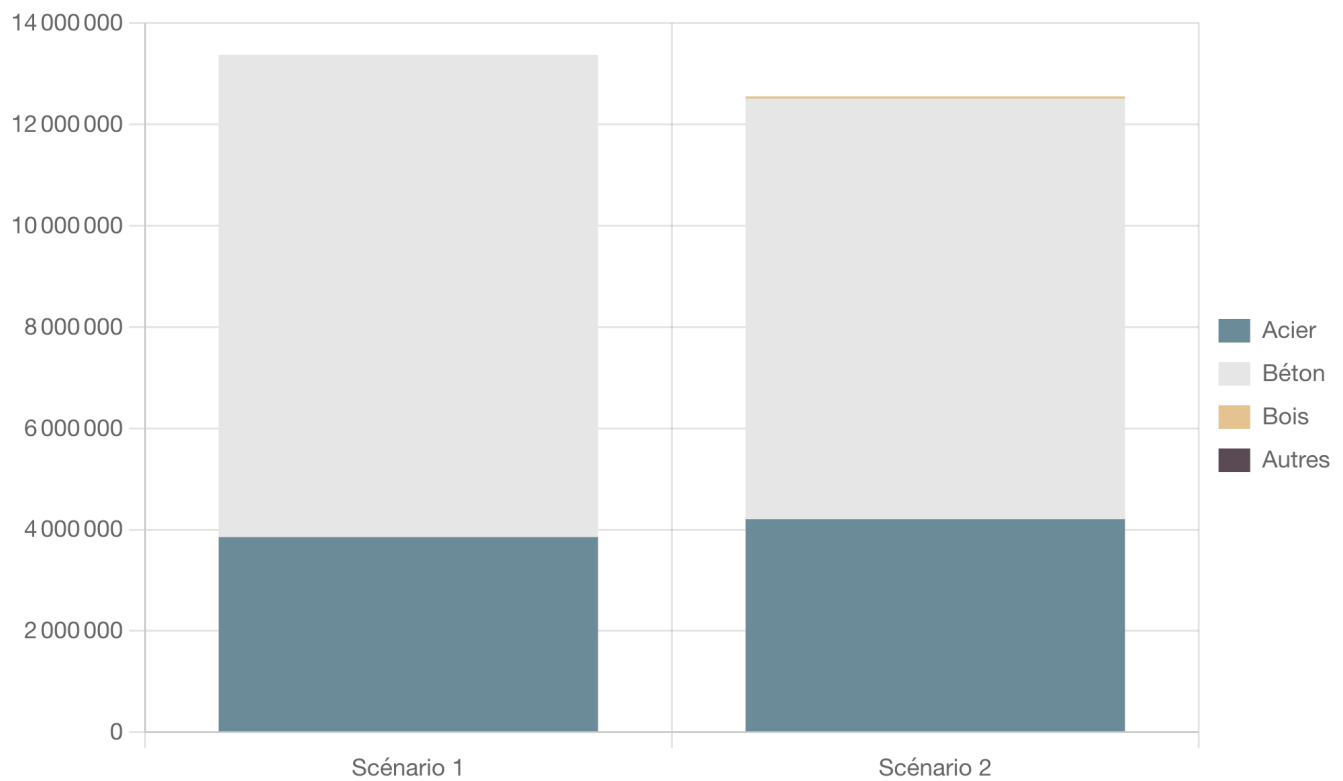
Émissions de GES (kg éq. CO<sub>2</sub>)

|                                     | Scénario 1            | Scénario 2          |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Nom                                 | Scénario de référence | Scénario projet GES |
| Type de structure                   | Béton                 | Hybride béton -bois |
| Saisie inclue bâtiment (s) type (s) | Non                   | Non                 |
| <u>Par matériau</u>                 |                       |                     |
| ■ Acier                             | 3 852 805             | 4 205 887           |
| ■ Béton                             | 9 519 322             | 8 295 680           |
| ■ Bois                              | 0                     | 50 358              |
| ■ Autres                            | 0                     | 0                   |
| <u>Par système constructif</u>      |                       |                     |
| ■ Fondations                        | 1 209 465             | 1 095 104           |
| ■ Poutres et colonnes               | 1 759 920             | 1 580 032           |
| ■ Planchers                         | 8 594 666             | 8 652 752           |
| ■ Murs intérieurs                   | 0                     | 0                   |
| ■ Murs extérieurs                   | 1 387 468             | 1 168 924           |
| ■ Toitures                          | 420 608               | 55 113              |
| <u>GES totales</u>                  |                       |                     |
| Total                               | 1,34e +7              | 1,26e +7            |
| GES par m <sup>2</sup>              | 357                   | 335                 |
| <u>Choix des scénarios</u>          |                       |                     |
| Scénario de référence               | X                     |                     |
| Scénario retenu                     |                       | X                   |
| Émissions de GES évitées            | -                     | 820 202             |
| % de réduction                      | -                     | 6,1                 |

Superficie totale de plancher: 37428 m<sup>2</sup>

## Comparaison des scénarios

### Émissions de GES par matériau (kg éq. CO<sub>2</sub>)



### Émissions de GES par système constructif (kg éq. CO<sub>2</sub>)

