

Rapport de projet GES

Bâtiment agricole de plus de 4800 m² non compartimenté en
bois massif

Réalisé par Yves Roy, ing.
Consultants Lemay & Choinière inc.

Dans le cadre du Programme d'innovation en construction bois
du Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

19 octobre 2023



Yves Roy, ing.
Consultants Lemay & Choinière inc.
Responsable du projet GES

Julien Brosseau, ing.
Direction du développement et de
l'innovation de l'industrie
Ministère des Ressources
naturelles et des Forêts
Responsable administratif de l'aide
financière

Shany Bernier
Ferme Berni
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 ainsi que le Fonds d'électrification et de changements climatiques (FECC) 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	12
1.5 Données du projet GES	18
2. Quantification des émissions de GES	22
3. Annexes	23

1. Projet GES

1.1 Parties prenantes du Projet GES

- Bénéficiaire de subvention : Ferme Berni (2001) inc.
- Responsable administratif de l'aide financière : Julien Brosseau, ing., direction du développement et de l'innovation de l'industrie (ministère des Ressources naturelles et des Forêts)
- Responsable du rapport du projet GES : Yves Roy, ing. (Consultants Lemay & Choinière inc.)
- Responsable des estimations de quantités de matériaux :
 - Projet construit : Yves Roy, ing. (Consultants Lemay & Choinière inc.)
 - Scénario de référence : Yves Roy, ing. (Consultants Lemay & Choinière inc.)
- Responsable de la quantification des émissions de GES : Rosaline Larivière-Lajoie, CPI, M.Sc., Conseillère technique/Technical advisor (Cecobois)
- Responsable de la vérification du rapport de projet GES : Enviro-accès inc.

1.2 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

- Titre du projet : Bâtiment agricole de plus de 4800 m² non compartimenté en bois massif
- Lieu de réalisation du projet de construction : 481, 6^e Rang, Sainte-Élisabeth-de-Warwick (Québec) J0A 1M0

1.3 Description du projet de construction

Considérant la croissance des dernières années de Ferme Berni (2001) inc., la construction d'un nouveau bâtiment de ferme s'imposait cette année. Les objectifs principaux étaient d'augmenter l'espace de logement pour les animaux, d'améliorer le confort animal et l'efficacité de travail.

Les bâtiments agricoles modernes pour les grands troupeaux ont des aires nécessaires à la production laitière de plus de 4 800 m². Une vaste aire de plancher permet un aménagement optimal des robots de traite, facilite la distribution des aliments et la gestion des fumiers. De plus, il est beaucoup plus commode et efficace pour l'exploitant agricole et les employés d'avoir l'ensemble des bovins sous un même toit sans compartimentation pour la gestion et la régie du troupeau, surtout lors de changement de groupe des vaches. Une aire de plancher ouverte améliore grandement l'efficacité des systèmes de ventilation et le contrôle de la chaleur en été. Le développement de ce type de bâtiment offre beaucoup de possibilités d'expansion.

Étant donné toutes les raisons énumérées ci-haut, l'entreprise désirait construire une nouvelle étable laitière robotisée de grande dimension. Le Code de construction agricole CNCBA art. 3.1.1.2 (1) prévoit que lorsqu'un bâtiment agricole à faible occupation humaine a une aire supérieure à 4 800 m² sur un étage, il doit être divisé en compartiments résistants au feu par des séparations coupe-feux verticales de construction incombustible ayant une résistance au feu d'au moins 1 h de manière à ce que chaque étage de chaque compartiment ait une aire de plancher conforme.

Ferme Berni (2001) inc. désirait construire une nouvelle étable où l'aire d'élevage principale ne serait pas compartimentée tout en respectant les codes et la réglementation en vigueur.

Afin d'obtenir toutes les approbations réglementaires nécessaires à la réalisation de ce projet, Ferme Berni (2001) inc. a dû déposer une demande de mesures différentes auprès des autorités compétentes telles que la municipalité et la CNESST.

À ce jour, Consultants Lemay et Choinière inc. a réussi à obtenir l'approbation de mesures différentes pour la conception de plusieurs bâtiments agricoles ayant une aire d'élevage dépassant 4800 m² sans aucune compartimentation. Une liste de mesures compensatoires permettant de réduire grandement les risques d'incendie à l'intérieur de ce bâtiment agricole moderne durant sa construction et dans l'usage a été présentée aux autorités compétentes afin d'obtenir l'approbation de ne pas compartimenter lesdites aires d'élevage. Jusqu'à présent, l'ensemble des mesures différentes déposées par Consultants Lemay & Choinière inc. et autorisé par les autorités compétentes concernait des structures où 100 % des éléments structuraux supportant la toiture étaient en acier et

en béton. L'utilisation du bois dans ce type de structure était très limitée et servait uniquement à retenir les revêtements muraux installés derrière un revêtement intérieur et extérieur métallique.

Ferme Berni (2001) inc. a construit une nouvelle étable où l'aire d'élevage principale n'est pas compartimentée et comporte des éléments structuraux en bois tout en recevant l'ensemble des approbations réglementaires requises. Ferme Berni (2001) inc. a fait le choix de ce type de bâtiment tant pour des considérations esthétiques qu'environnementales.

Voici donc un bref descriptif du bâtiment construit :

Section 1 — Étable laitière

- Étable laitière à logettes libres avec traite robotisée.
- Capacité de 400 vaches laitières en logettes avec litière de sable et 60 vaches en enclos. La litière est composée de sable incombustible.
- Structure en bois massif avec poteaux en acier incombustible.
- Ventilation naturelle avec toile de ventilation sur 2 faces du bâtiment et cheminées.

Section 2 — Laiterie et aire de service (section non incluse dans l'étude GES)

- Salles mécanique et électrique, bureau et laiterie.
- Séparation coupe-feu de 1 heure entre l'aire de service et l'aire d'élevage principale de la section étable.
- Structure en ossature légère conventionnelle avec structure conventionnelle
- Cette section est compartimentée de l'aire d'élevage principale comme le risque d'incendie est plus élevé. Cette section du bâtiment aurait été similaire peu importe le type de structure utilisé dans l'aire d'élevage principale et n'est donc pas considéré comme une structure innovante. Par conséquent, elle n'est pas incluse dans le rapport de GES.

Section 3 — Pouponnière à veaux et aire de service (Section non incluse dans l'étude GES)

- Aire de service pour l'alimentation des veaux et bâtiment d'élevage pour les veaux.
- Séparation coupe-feu de 1 heure entre l'aire de service et l'aire d'élevage principale de la section étable
- Structure en ossature légère conventionnelle avec structure conventionnelle pour l'aire de service et structure en poutres d'acier et solives de bois pour la section d'élevage pour les veaux.
- Cette section est compartimentée de l'aire d'élevage principale comme le risque de déclenchement d'incendie est plus élevé. Cette section du bâtiment aurait pu être similaire peu importe le type de structure utilisé dans l'aire d'élevage principale et n'est donc pas considéré comme une structure innovante. Par conséquent, elle n'est pas incluse dans le rapport de GES.

Le plan de plancher de la zone d'élevage principale se trouve à l'annexe 1 du présent rapport.

Tableau 1 : Dimensions de l'aire d'élevage principale

Dimensions en plan	pi	m
Largeur ext. fondation	183,66	55,979568
Longueur ext. fondation	433,5	132,1308
Largeur du plan de toiture incluant les corniches	196,33	59,841384
Longueur du plan de toiture incluant les corniches	439,5	133,9596
Superficie	pi²	m²
Fondations	79616,61	7396,6251
Toitures (avec corniches et pente 2/12)	86287,035	8016,32786
Dimensions murs latéraux	pi	m
Hauteur mur latéral sous le plafond et toit PMI	15,66	4,773168
Longueur mur latéral ouverture ventilation	662,67	201,981816
Longueur mur latéral fermé	204,33	62,279784
Superficie (mur de sable en béton soustrait)	pi²	m²
Superficie mur latéral fermé sous le plafond et toit PMI	3019,8078	280,549325
Dimensions mur de bout	pi	m
Hauteur du mur de bout sous le plafond et toit PMI au pignon côté laiterie	31,5	9,6012
Longueur des murs de bout côté laiterie	183,66	55,979568
Hauteur du mur de bout sous le plafond et toit PMI au pignon côté sable	25,5	7,7724
Longueur des murs de bout côté sable	183,66	55,979568
Superficie	pi²	m²
Superficie mur de bout sous le plafond et toit PMI côté laiterie	4330,7028	402,335455
Superficie mur de bout sous le plafond et toit PMI côté sable	3779,7228	351,147738

L'ensemble de la structure composée de poteaux d'acier ou de bois massif et de poutres et solives en bois massif a été conçu afin de correspondre aux exigences d'un bâtiment agricole. Voici une vue d'ensemble de la structure en bois massif du bâtiment fournie par la compagnie Art Massif.

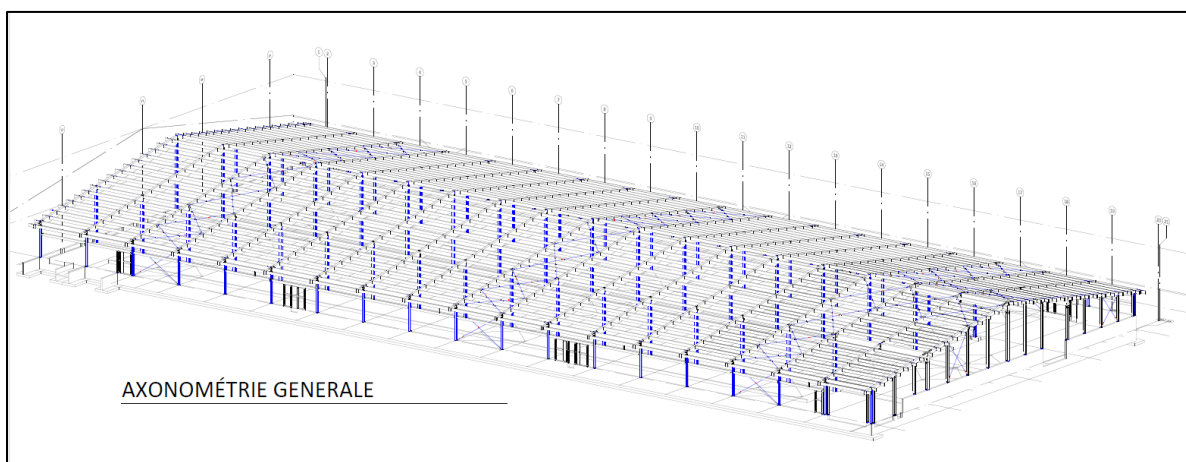


Figure 1 – Vue d'ensemble de la structure de bois (Crédit : Art Massif)

Malgré le fait que cette étable soit bien ventilée, il est possible que les éléments structuraux soient exposés à l'humidité et aux gaz de fumier durant une certaine période, principalement en hiver. Dans la mesure du possible, les plaques d'acier de support ainsi que les attaches ont été camouflées à l'intérieur des composantes en bois, ce qui réduit leur exposition à l'humidité. L'ensemble des composantes en acier exposé ont été galvanisées afin de réduire les risques de corrosion à long terme. La figure 2 présente un exemple d'attache utilisée dans le projet qui illustre bien ce concept.

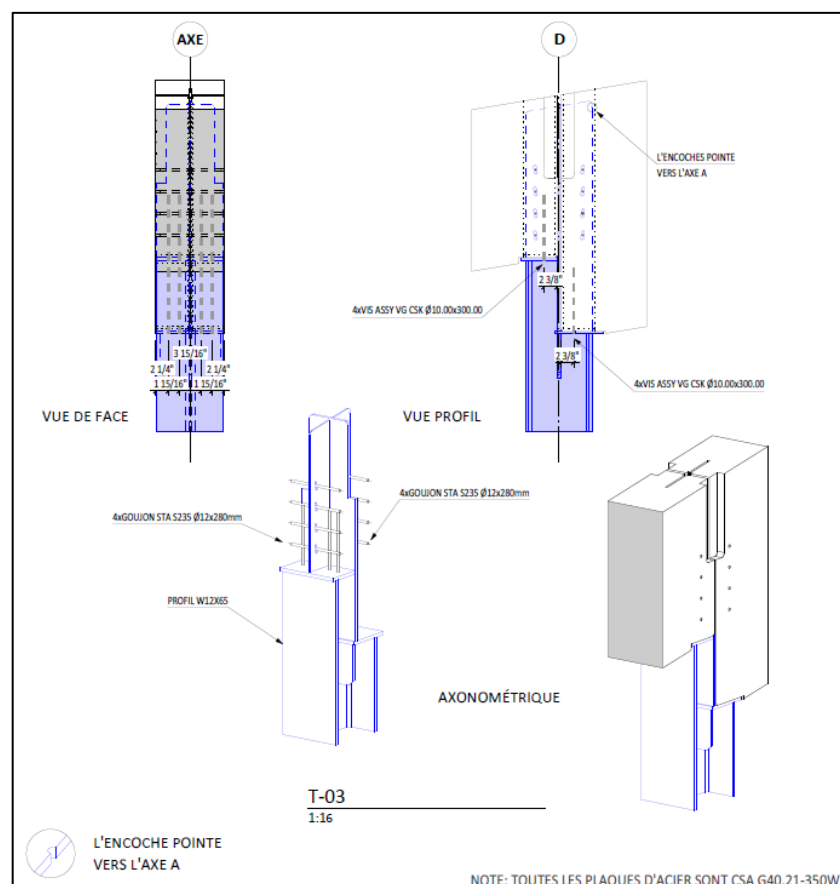


Figure 2 – Attache utilisée

Un descriptif des coupes principales illustrant l'assemblage des revêtements installés sur la structure de bois massif est présenté ci-dessous. Il a été décidé d'utiliser un panneau métallique isolé (PMI) directement installé sur la structure de bois massif afin de conserver l'esthétique de la structure en bois massif à l'intérieur et étant donnée la simplicité et vitesse d'installation.

La coupe 1 (figure 3) représente la coupe de mur latérale typique vis-à-vis les ouvertures de ventilation. Les équipements de ventilation utilisés sont des équipements couramment utilisés dans le bâtiment d'élevage. Les composantes structurales en bois massif ont été positionnées et dimensionnées afin de permettre l'installation de ces équipements de ventilation, tel qu'illustré dans la coupe.

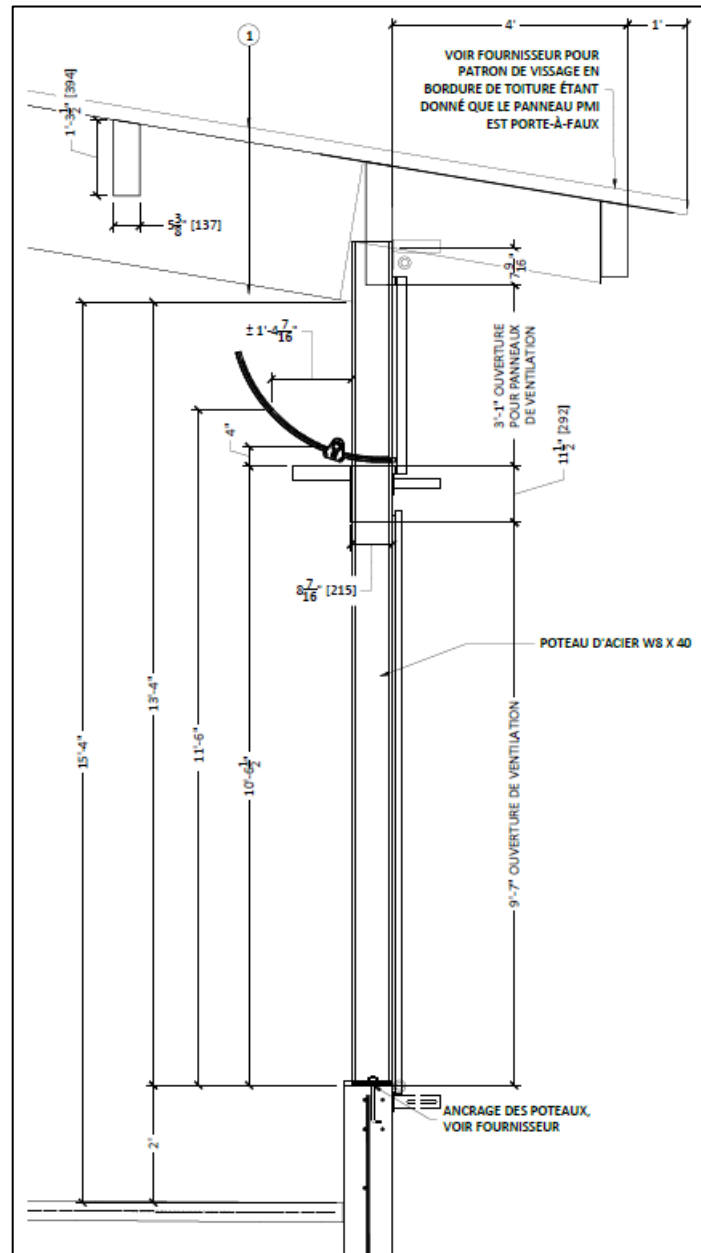


Figure 3 - Coupe de mur latérale typique vis-à-vis les ouvertures de ventilation

La composition de la toiture est un panneau métallique isolé (PMI) installé sur une structure en bois massif fournie par la compagnie Art Massif. L'ensemble des membrures de bois massif ainsi que les poteaux sont visibles de l'intérieur.

La coupe 2 (figure 4) présente la coupe de mur latérale typique vis-à-vis les murs où il n'y a pas de toile de ventilation.

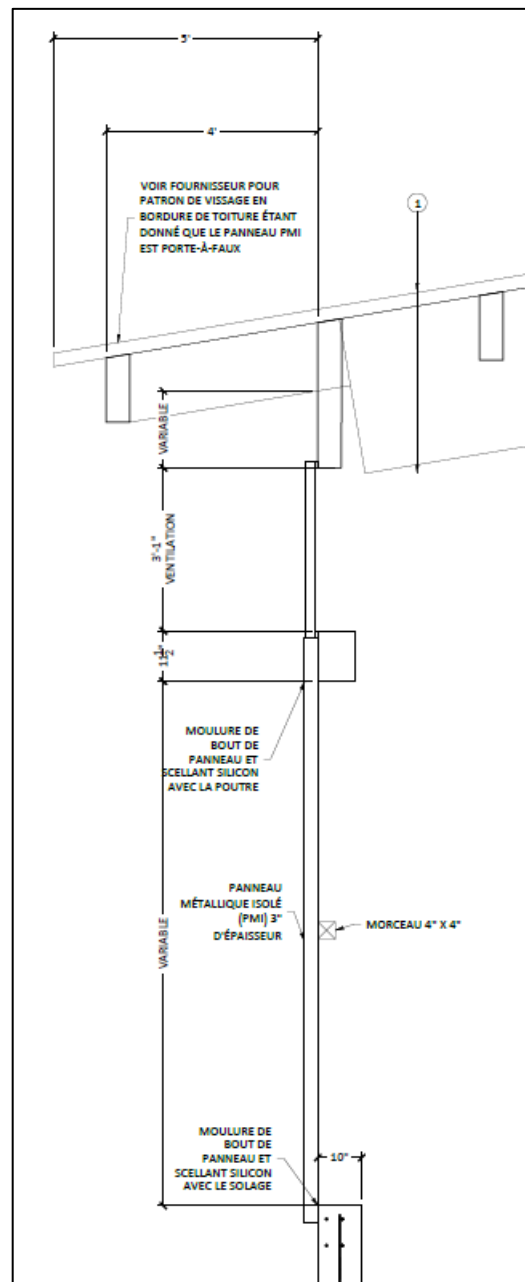


Figure 4 – Coupe de mur latérale (sans toile de ventilation)

La coupe 3 (figure 5) représente la coupe de mur de bout de bâtiment typique pour le bâtiment de Ferme Berni (2001) inc. Il est noté que dans l'estimation des matériaux, l'ensemble du mur de bout a été considéré en panneau métallique isolé étant donné que le panneau translucide de pignon est un ajout esthétique présent dans le bâtiment actuel, mais qui n'est pas nécessaire à la structure du bâtiment.

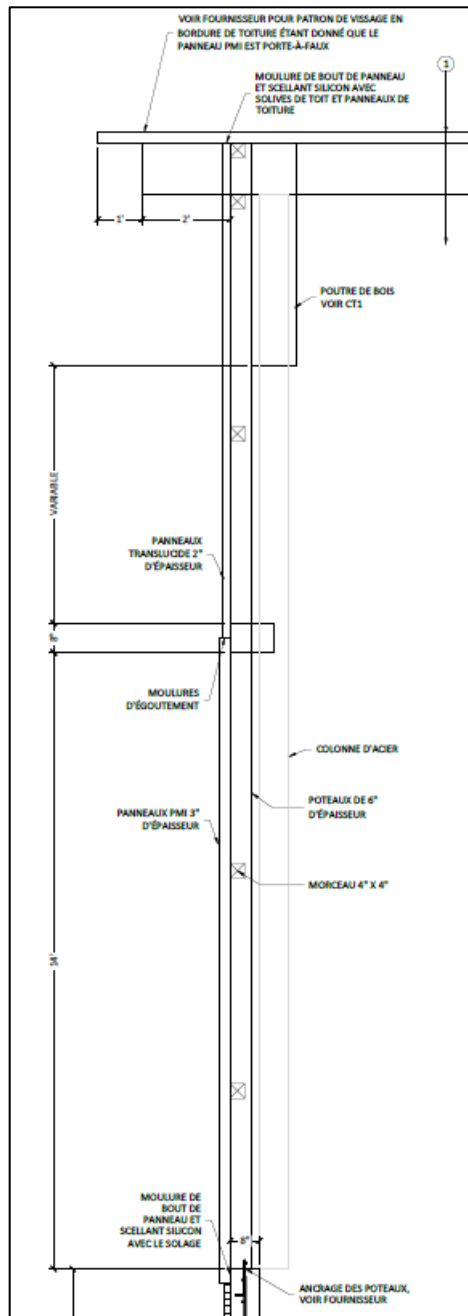


Figure 5 – Coupe de mur de bout de bâtiment typique

En bref, Ferme Berni (2001) inc. a construit une nouvelle étable novatrice où l'aire d'élevage principale n'est pas compartimentée et comporte des éléments structuraux en bois massif apparent. L'ensemble de la structure a été conçu afin de répondre aux contraintes de conditions internes ambiantes et de satisfaire aux exigences d'équipements de ventilation couramment utilisés dans les bâtiments agricoles. L'entreprise a fait le choix de ce type de bâtiment tant pour des considérations esthétiques qu'environnementales, même si une innovation de ce type représentait un investissement supérieur par rapport à une étable conventionnelle. Il est tout à fait normal qu'un projet innovateur représente un investissement plus important qu'un bâtiment conventionnel considérant le temps nécessaire au développement et à la conception du bâtiment. Toutefois, il est fort probable que les coûts diminueront lorsque ce type de structure deviendra d'usage conventionnel dans les bâtiments agricoles. Cette étable novatrice est unique et pave la voie à la construction d'une nouvelle génération d'étables en bois de grandes dimensions au Québec et ailleurs au Canada.

1.4 Description et justification du scénario de référence

Tel que décrit précédemment, Consultants Lemay et Choinière inc. a réussi à obtenir l'approbation de mesures différentes pour la conception de plusieurs bâtiments agricoles ayant une aire d'élevage dépassant 4800 m² sans aucune compartimentation dans le passé. Jusqu'à présent, l'ensemble des mesures différentes déposé par Consultants Lemay & Choinière inc. et autorisé par les autorités compétentes concernait des structures où 100 % des éléments structuraux supportant la toiture étaient en acier et en béton. L'utilisation du bois dans ce type de structure était très limitée et servait uniquement à retenir les revêtements muraux installés derrière un revêtement intérieur et extérieur métallique.

Il est donc tout à fait justifié de baser le scénario de référence sur le type de bâtiment ayant obtenu des approbations de mesures différentes sans aucune compartimentation dans l'aire d'élevage principale et où 100 % des éléments structuraux supportant la toiture étaient en acier et en béton. Comme il y a seulement 1 type de bâtiment comparable actuellement, il n'a pas été jugé opportun d'effectuer le test de barrière pour déterminer le scénario de référence dans ce projet.

Le bâtiment de référence étudié est similaire au bâtiment en bois massif innovateur construit en ce qui concerne l'usage et les hauteurs de travail. Par contre, dans le scénario de référence, il y a un entretoit permettant de protéger l'ensemble des éléments de structures d'acier (Ferme de toit triangulé, contreventement et girts d'acier) de la corrosion. Les éléments de toiture, de support de toiture et de plafond en acier dans le scénario de référence ne sont pas galvanisés puisque cela représenterait des coûts très importants. Il serait également très difficile de laver l'intérieur du bâtiment avec toute ces composantes apparentes. Étant donné cet entretoit, le scénario de référence implique un revêtement de plafond (Panneau PMI) différent du revêtement de toit (Tôle 24G). L'entretoit se retrouvant entre les 2. Pour le bâtiment réel en bois massif, il n'y a pas d'entretoit puisque les composantes structurales sont pleines et les composantes de bois ne sont pas susceptible à la corrosion. Par conséquent, dans le bâtiment réel, le panneau PMI est utilisé à la fois comme revêtement de toiture et de plafond et il n'y a pas d'entretoit.

Afin de pouvoir comparer des bâtiments exposés à des charges de neige et de pluie similaires, l'ingénierie de la structure d'acier et des composantes structurales en acier a été basée sur un bâtiment qui n'a compartimentation dans l'aire d'élevage principale et où 100 % des éléments structuraux supportant la toiture étaient en acier et en béton et qui a été récemment construit dans la région de

Victoriaville, soit près de Ferme Berni (2001) inc.

Ce type de structure de bâtiment avait sérieusement été envisagée avant de prendre la décision de construire un bâtiment en structure de bois massif puisqu'il représentait le seul type de bâtiment ayant obtenu une approbation de mesures différentes pour une superficie de plus 4 800 m² non compartimentée par Consultants Lemay & Choinière inc.

Le bâtiment construit dans la région de Victoriaville avait des dimensions extérieures différentes et a servi à déterminer les quantités de matériaux par unité de surfaces de bâtiment qui ont par la suite été utilisées pour évaluer les quantités de matériaux qui auraient été utilisés dans le bâtiment de référence.

Tableau 2 : Dimensions de l'aire d'élevage principale utilisée comme bâtiment de référence

Dimensions en plan	pi	m
Largeur ext. fondation	183,66	55,979568
Longueur ext. fondation	433,5	132,1308
Largeur du plan de toiture incluant les corniches	196,33	59,841384
Longueur du plan de toiture incluant les corniches	439,5	133,9596
Largeur du plan de plafond en considérant une pente de plafond de 1" au 12"	182,99	55,775352
Longueur du plan de plafond (int. fondation)	432	131,6736
Superficie	pi²	m²
Fondations	79616,61	7396,6251
Toitures (avec corniches et pente 2/12)	86287,035	8016,32786
Plafond (pente de plafond 1/12)	79051,68	7344,14139
Dimensions murs latéraux	pi	m
Hauteur mur latéral sous le plafond PMI	13,66	4,163568
Hauteur mur latéral sous le soffite perforé	14,92	4,547616
Longueur mur latéral ouverture ventilation	662,67	201,981816
Longueur mur latéral fermé	204,33	62,279784
Superficie (mur de sable en béton soustrait)	pi²	m²
Superficie mur latéral fermé sous le plafond PMI	2611,1478	242,583569
Superficie mur latéral fermé sous le soffite perforé	2868,6036	266,501995
Dimensions mur de bout	pi	m
Hauteur du mur de bout sous le plafond PMI au pignon côté laiterie	21,5	6,5532
Hauteur de mur du bout sous le soffite perforé au pignon côté laiterie	31,66	9,649968
Longueur des murs de bout côté laiterie	183,66	55,979568
Hauteur du mur de bout sous le plafond PMI au pignon côté sable	15,5	4,7244
Hauteur de mur du bout sous le soffite perforé au pignon côté sable	25,66	7,821168
Longueur des murs de bout côté sable	183,66	55,979568
Superficie	pi²	m²
Superficie mur de bout sous le plafond PMI côté laiterie	3228,7428	299,960021
Superficie mur de bout sous le soffite perforé côté laiterie	4277,4414	397,387309
Superficie mur de bout sous le plafond PMI côté sable	2677,7628	248,772305
Superficie mur de bout sous le soffite perforé côté sable	3726,4614	346,199593

La structure supportant la toiture est composée d'acier dans le scénario de référence. La figure 6 présente le détail de la coupe transversale de la structure d'acier utilisée dans l'estimation des composantes d'acier pour la structure du scénario de référence.

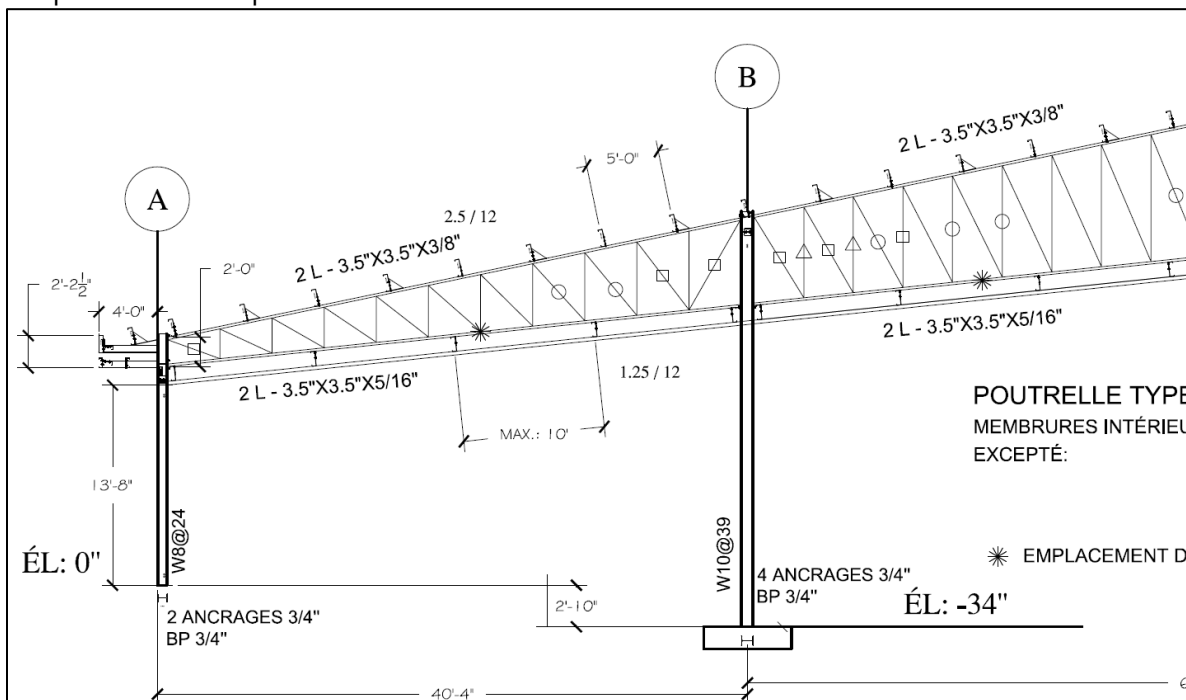


Figure 6 – Coupe transversale de la structure d'acier...

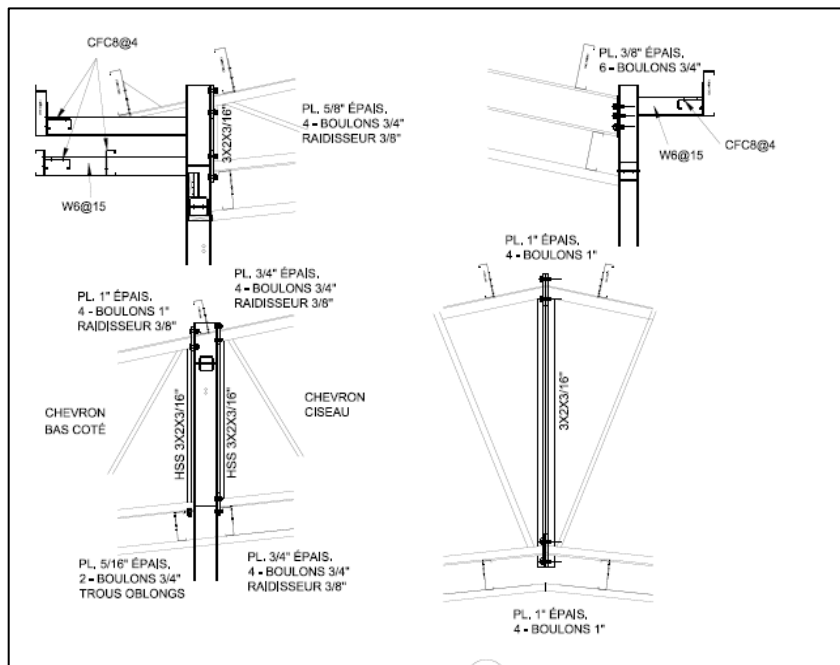


Figure 7 – ...

Dans le scénario de référence, le panneau métallique isolé (PMI) est installé comme revêtement de plafond et comme revêtement intérieur de mur, ce qui permet de protéger la structure des conditions ambiantes, telles que l'humidité et certains gaz de fumier. L'ensemble des composantes en acier

exposé à l'intérieur du bâtiment avait été galvanisé afin de réduire les risques de corrosion à long terme.

Un descriptif des coupes principales illustrant l'assemblage des revêtements installés sur la structure d'acier est présenté ci-dessous.

La coupe 1 (figure 8) ci-dessous représente la coupe de mur latérale typique vis-à-vis les ouvertures de ventilation. Les équipements de ventilation utilisés sont des équipements couramment utilisés dans le bâtiment d'élevage. L'ensemble des composantes structurales ont été positionnées et dimensionnées afin de permettre l'installation de ces équipements de ventilation, tel qu'illustré dans la coupe.

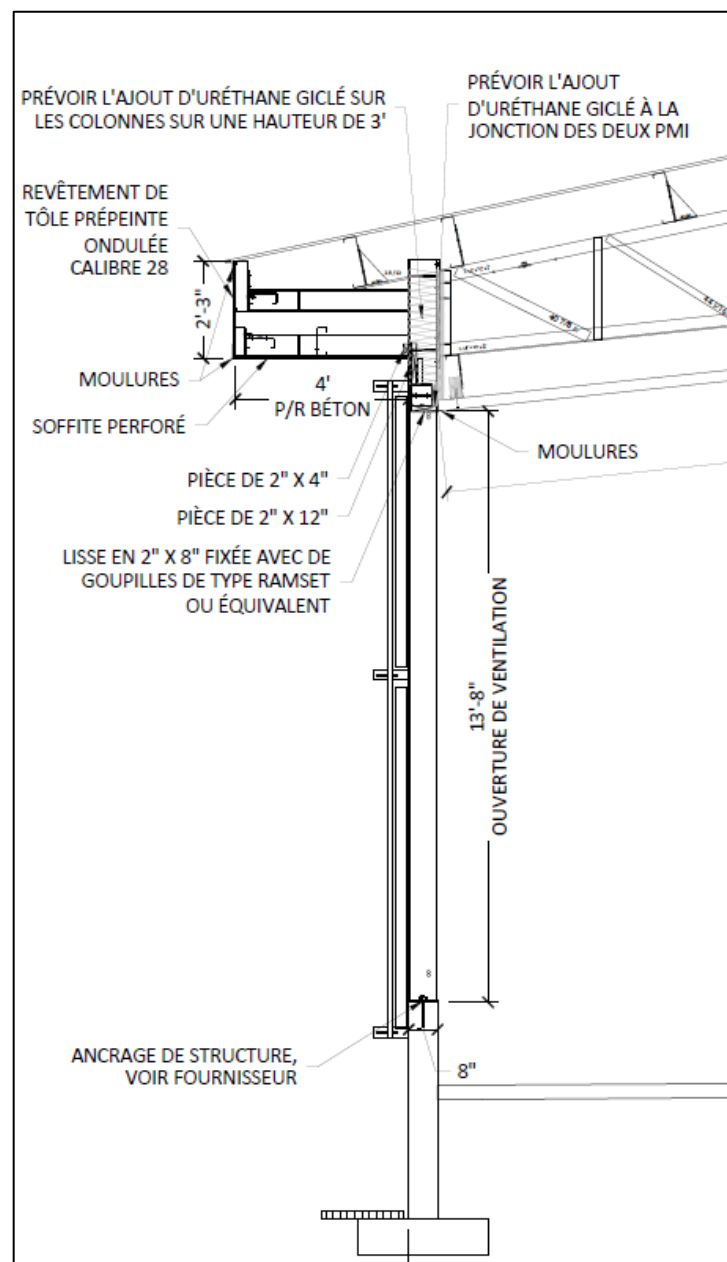


Figure 8 – Coupe de mur latérale

La composition de la toiture était la suivante :

- Revêtement de tôle prépeinte 24G (selon les recommandations du fournisseur)
- Girts de 14" d'épaisseur aux 5' c/c (selon les spécifications du fournisseur de structure)
- Fermes d'acier approuvées par l'ingénieur de structure (voir fournisseur)
- Girts de 12" d'épaisseur aux 12' c/c (selon les spécifications du fournisseur de structure)
- Panneau métallique isolé (PMI) Vicwest 3" (selon les recommandations du fournisseur)
- Joints étanches, embouvetés, incombustibles
- Prévoir l'ajout d'une membrane isolante entre les girts et le PMI

La coupe 2 (figure 9) ci-dessous représente la coupe de mur latérale typique vis-à-vis les murs ou il n'y a pas de toile de ventilation.

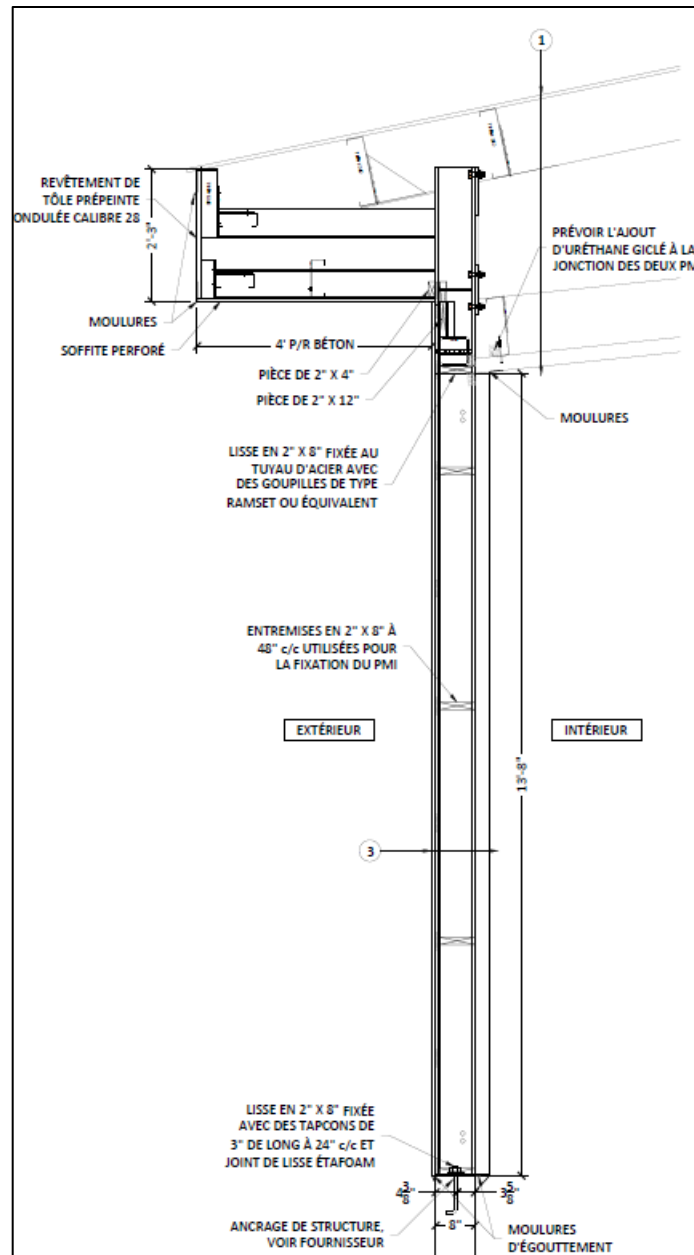


Figure 9 – Coupe de mur latérale typique sans toile de ventilation

La composition du mur était la suivante :

- Revêtement de tôle prépeinte ondulée calibre 28 (voir client)
- Lattes de clouage 1" x 4" à 24" c/c
- Colombages en 2" x 8" à 24" c/c
- Panneau métallique isolé (PMI) Vicwest 3" selon les recommandations du fournisseur avec joints étanches, emboutetés, incombustibles

La figure 10 (coupe 3) ci-dessous représente la coupe de mur de bout de bâtiment typique pour le bâtiment de référence.

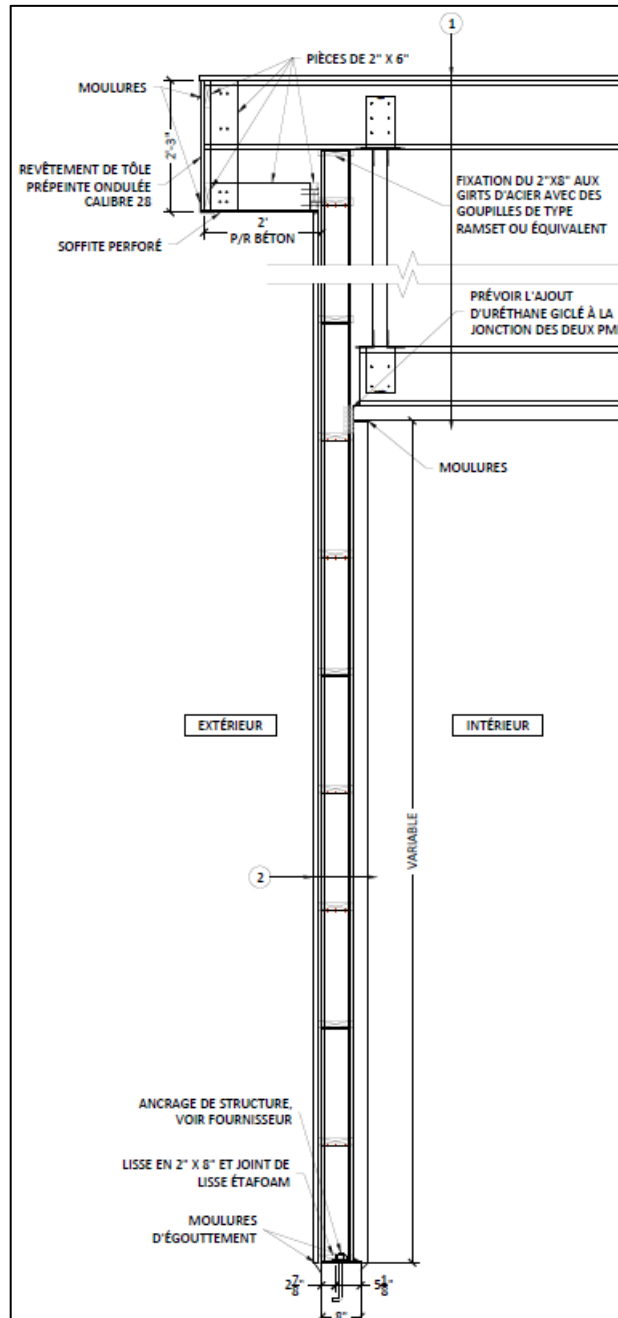


Figure 10 – Coupe de mur de bout de bâtiment typique pour le bâtiment de référence

La composition du mur était la suivante :

- Revêtement de tôle prépeinte 28G (voir client)
- Entremises de 2" x 8" à 24" c/c
- Panneau métallique isolé (PMI) Vicwest 3" selon les recommandations du fournisseur avec joints étanches, embouvetés, incombustibles

1.5 Données du projet GES

Évaluation des quantités de matériaux de bâtiment innovateur en bois massif

Un calcul de l'ensemble des quantités de matériaux a été réalisé à partir des plans signés et scellés le 7 novembre 2022 par Raphaël Bouchard, ing. de Art Massif (fournisseur de la structure en bois massif) ainsi que des plans d'ingénierie complets du bâtiment signés et scellés le 22 mars 2023 par Yves Roy, ing. de Consultants Lemay & Choinière inc. Le calcul des matériaux de la structure en bois massif (Art Massif) pour tous les éléments en bois, les colonnes et tirants d'acier directement écrit sur les plans et devis a servi à l'estimation des quantités. Les quantités de clous, vis et boulons ont été estimées à partir des bons de livraison de matériaux sur le site pour les différentes phases envoyés par courriel par M. Raphaël Bouchard, ing. le 28 juillet 2023. Le poids des clous, vis et boulons a été estimé à partir des bons de livraison et de la nature des éléments par Yves Roy, ing.

Dans les murs des bouts du bâtiment seulement, une partie des composantes de bois massif, des colonnes d'acier et des plaques d'attaches a été fournie par un autre fournisseur que Art Massif considérant les contraintes liées au délai de fabrication et de livraison de Art Massif. Les composantes de bois ont été fournies par Barrette Structural et les composantes d'acier ont été fournies par un fournisseur de pièces d'acier indépendant, M. Jean Ouellet à Victoriaville. Les détails des composantes de bois et d'acier fournies par ces 2 fournisseurs sont présentés sur les plans de Consultants Lemay & Choinière inc. L'estimation des quantités de matériaux pour ces composantes a été effectuée par Yves Roy, ing. à partir des plans et devis.

Les quantités des composantes de revêtement installées sur la structure ont été estimées par Yves Roy, ing. à partir des plans et devis de Consultants Lemay & Choinière inc.

Le détail des calculs pour chacune des composantes est fourni en annexe 3.

Il est à noter que les fondations en béton sous la structure en bois massif auraient été similaires si le bâtiment avait été construit en acier, tel que présenté dans le scénario de référence. Par conséquent, l'estimation de la quantité de matériaux requis pour réaliser les fondations n'a pas été considérée dans le bâtiment en bois massif construit ni dans la structure d'acier du bâtiment de référence puisqu'elle aurait été sensiblement équivalente. Il en va de même pour les ancrages dans le béton sous la structure qui n'ont pas été considérés dans aucun des deux scénarios.

Un panneau PMI a été utilisé tant dans le scénario de référence que dans le scénario réel réalisé. La surface de panneau PMI varie toutefois légèrement entre les deux scénarios puisque le panneau PMI est utilisé comme revêtement de plafond dans le scénario de référence et comme revêtement de toit dans le bâtiment réel construit. L'acier du panneau a été comptabilisé dans les deux scénarios, mais pas l'uréthane présent à l'intérieur du panneau étant donné qu'aucune donnée n'était disponible relativement à l'impact sur les GES de ce matériau.

Aucun matériau n'a été estimé pour les planchers considérant que le bâtiment n'a qu'un étage.

L'aire d'élevage principale est une aire ouverte, ce qui implique qu'aucune division intérieure ne compartimente le secteur. Une salle intérieure composée d'une petite aire de service et d'une salle mécanique abritant les robots de traite est présente à l'intérieur de l'aire d'élevage. Par contre, cette salle n'a pas été considérée dans les calculs des matériaux tant pour le scénario de référence que pour le bâtiment réel construit étant donné que sa structure aurait été très probablement similaire, peu importe le type de structure du bâtiment d'élevage principal. Par conséquent, aucun matériau pour les divisions intérieures n'a été considéré.

Tableau 3 : Résumé des quantités de matériaux utilisés pour évaluer l'impact sur les GES (projet)

QUANTITÉ DE MATÉRIAUX			INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES	
Matériau	Quantité	Unité	Méthode d'estimation	Commentaires (ex. informations sur le matériau, justification de la précision)
Fondations				
AJOUTER				
Poutres et colonnes				
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	47,35	t	Plans et devis	Total des colonnes d'acier (Art Massif)
HSS	3,24	t	Plans et devis	Poids total colonne HSS mur de bout
BLC	287,92	m³	Plans et devis	Poutres de bois principales (fermes de toit) (Art Massif)
BLC	258,80	m³	Plans et devis	Poutre secondaire et solives de toit (Art Massif)
BLC	3,73	m³	Plans et devis	Colonne de bois (Art Massif)
BLC	3,90	m³	Plans et devis	Entremises et support (Art Massif)
BLC	2,75	m³	Plans et devis	Colonnes de bois pour les murs de bouts (Barette structural)
BLC	9,11	m³	Plans et devis	Entremises et support dans les murs de bout (Barette structural)
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	1,30	t	Plans et devis	Poids total tirants (Art Massif)
Vis, écrous et boulons	1586,20	kg	Fournisseurs	Total boulons, vis et goujons (Art Massif)
Clous	39,51	kg	Fournisseurs	Clous (Art Massif)
AJOUTER				
Planchers				
AJOUTER				
Toiture				
Autres	293397,60	kg éq. CO2	Plans et devis	Panneau métallique isolé (PMI) de toiture : DEP Norbec
Vis, écrous et boulons	684,44	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé
AJOUTER				
Murs extérieurs				

Autres	37845,59	kg éq. CO2	Plans et devis	Panneau métallique isolé (PMI) mur latéraux et de bout : DEP Norbec
Vis, écrous et boulons	47,91	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé mur latéraux fermés
Vis, écrous et boulons	128,66	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé mur de bout
Plaques d'acier épaisses	100,41	kg	Plans et devis	Poids total plaques mur de bout
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	0,298	t	Plans et devis	Poids total cornière mur de bout
Vis, écrous et boulons	193,1	kg	Plans et devis	Poids total boulons et vis mur de bout
AJOUTER				
Murs intérieurs				
AJOUTER				

Tel que détaillé dans le tableau 3 ci-avant, le volume total de bois utilisé est de :

VOLUME TOTAL DE BOIS DANS LE PROJET (m³)
566.21 m³

Évaluation des quantités de matériaux du scénario de référence

Le bâtiment de référence étudié est similaire au bâtiment en bois massif innovateur construit en ce qui concerne l'usage et les hauteurs de travail tel que décrit précédemment.

L'ingénierie complète d'une structure d'acier qui aurait été installée chez Ferme Berni (2001) inc. n'a pas été réalisée par aucun fournisseur étant donné que ce n'était pas le type de structure retenu par le requérant. Toutefois, tel que décrit, les composantes structurales en acier ont été basées sur un bâtiment récemment construit dans la région de Victoriaville, soit dans la même région que Ferme Berni (2001) inc., qui ne contient aucune compartimentation dans l'aire d'élevage principale et où 100 % des éléments structuraux supportant la toiture étaient en acier et en béton. Le tout afin de pouvoir comparer des bâtiments exposés à des charges de neige et de pluie similaires.

Les quantités des composantes structurales associées à la structure d'acier ont été estimées par Yves Roy, ing. de Consultants Lemay & Choinière inc., à partir des coupes présentées à la section 1.4.

Les quantités des composantes de revêtement installées sur la structure ont été estimées par Yves Roy, ing. de Consultants Lemay & Choinière inc., à partir des coupes présentées à la section 1.4.

Le détail des calculs pour chacune des composantes est fourni en annexe 3.

Tableau 4 : Résumé des quantités de matériaux utilisés pour évaluer son impact sur les GES (scénario de référence)

QUANTITÉ DE MATÉRIAUX			INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES	
Matériau	Quantité	Unité	Méthode d'estimation	Commentaires (ex. informations sur le matériau, justification de la précision)
Fondations				
AJOUTER				
Poutres et colonnes				
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	35,152	t	Note de calculs	Total colonnes acier
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	3,898	t	Note de calculs	Colonne d'acier de bout de bâtiment W6@15
Vis, écrous et boulons	6,64	kg	Note de calculs	Boulons pour colonne de bout
Poutrelles d'acier ajourées	75,094	t	Note de calculs	Total ferme de toit triangulé
Vis, écrous et boulons	975,41	kg	Note de calculs	Total boulons ferme de toit d'acier
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	74,263	t	Note de calculs	Total girts de toit
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	28,001	t	Note de calculs	Girts de plafond
Vis, écrous et boulons	144,73	kg	Note de calculs	Boulons pour girts de plafond
HSS	12,293	t	Note de calculs	Total HSS entre les fermes de toit
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	5,758	t	Note de calculs	Total support en L acier (poutres secondaires) et tiges
AJOUTER				
Planchers				
AJOUTER				
Toiture				
Plaques d'acier minces	53228,23	kg	Note de calculs	Tôle de toiture 24G de toit
Vis, écrous et boulons	337,30	kg	Note de calculs	Vis pour tôle de toiture 24G de toit
Autres	267587,77	kg éq. CO2	Note de calculs	Panneau métallique isolé (PMI) de plafond : DEP Norbec (voir ci-contre)
Vis, écrous et boulons	627,05	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé de plafond
AJOUTER				
Murs extérieurs				
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	0,346	t	Note de calculs	Contreventement acier - tige 1" (7 sections de 24' contreventées par côté)

Plaques d'acier minces	8076,64	kg	Note de calculs	Tôle 28G et soffite
Vis, écrous et boulons	152,98	kg	Note de calculs	Visse à tôle
Bois d'œuvre	24,12	m³	Note de calculs	Bois (ossature légère)
Clous	120,74	kg	Note de calculs	Clous pour les colombages
Autres	28962,16	kg éq. CO2	Note de calculs	Panneau métallique isolé (PMI) de murs : DEP Norbec (voir ci-contre)
Vis, écrous et boulons	135,13	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé
AJOUTER				
Murs intérieurs				
AJOUTER				

2. Quantification des émissions de GES

Dans le cadre du programme d'innovation en construction bois du MRNF, Cecobois a été mandaté par Consultants Lemay & Choinière inc. pour quantifier la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet réalisé à la Ferme Berni en le comparant à un scénario de référence. Un rapport de quantification de la réduction des émissions de gaz à effet de serre attribuables à la fabrication de matériaux de structure d'une infrastructure réalisé par Rosaline Larivière-Lajoie, ing. de Cecobois le 22 septembre 2023 est fourni en annexe 4 du présent rapport.

Selon ce rapport, les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet réalisé sont estimées à 491 035 kg éq. CO₂, soit 66 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher, alors que les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du scénario de référence sont estimées à 903 094 kg éq. CO₂, soit 122 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher. Selon ces données, le projet réalisé entraîne une réduction d'émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure de 412 059 kg éq. CO₂, soit une réduction de 56 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher.

Tableau 5 : Résumé des émissions GES du projet construit en comparaison au scénario de référence

ÉMISSIONS GES DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE (kg éq. CO ₂)	ÉMISSIONS GES DU PROJET CONSTRUIT (kg éq. CO ₂)	RÉDUCTION DES ÉMISSIONS GES (kg éq. CO ₂)
903 094	491 035	412 059

3. Annexes

Annexe 1 : Plan de plancher de Ferme Berni (2001), pages P1 et CT1



Annexe 2 : Lettre certifiant que les estimations sur les quantités de matériaux respectent le niveau de précision attendu

Le 19 octobre 2023

N/Réf. : 2020.266

Objet : Certification que les estimations sur les quantités de matériaux respectent le niveau de précision attendu

Bâtiment réel construit

Un calcul de l'ensemble des quantités de matériaux a été réalisé à partir des plans du fournisseur de la structure en bois massif (Art Massif) signés et scellés le 7 novembre 2022 par Raphaël Bouchard, ing., ainsi que les plans d'ingénierie complets du bâtiment de Consultants Lemay & Choinière inc. signés et scellés le 22 mars 2023 par Yves Roy, ing. Le calcul des matériaux de la structure en bois massif (Art Massif) pour tous les éléments en bois, les colonnes et tirants d'acier qui est directement écrit sur les plans et devis a servi à l'estimation des quantités. Les quantités de clous, vis et boulons ont été estimées à partir des bons de livraison de matériaux sur le site pour les différentes phases envoyés par courriel le 28 juillet 2023 par M. Raphaël Bouchard, ing. Le poids des clous, vis et boulons a été estimé à partir des bons de livraison et de la nature des éléments par Yves Roy, ing.

Dans les murs de bouts du bâtiment seulement, une partie des composantes de bois massif, des colonnes d'acier et des plaques d'attaches a été fournie par un autre fournisseur que Art Massif étant donné des contraintes liées au délai de fabrication et de livraison de Art Massif. Les composantes de bois ont été fournies par Barrette Structural et les composantes d'acier ont été fournies par un fournisseur de pièces d'acier indépendant, soit M. Jean Ouellet de Victoriaville. Les détails des composantes de bois et d'acier fournies par ces deux fournisseurs sont fournis sur les plans de Consultants Lemay & Choinière inc. L'estimation des quantités de matériaux pour ces composantes a été effectuée par Yves Roy, ing., à partir des plans et devis.

Les quantités des composantes de revêtement installées sur la structure ont été estimées par Yves Roy, ing., à partir des plans et devis de Consultants Lemay & Choinière inc.

Bâtiment de référence

Le bâtiment de référence étudié est similaire au bâtiment en bois massif innovateur construit en ce qui a trait à l'usage et aux hauteurs de travail. Par contre, l'ingénierie complète d'une structure d'acier qui aurait été installée chez Ferme Berni (2001) inc. n'a pas été réalisée par aucun fournisseur puisque ce n'était pas le type de structure retenu par le requérant. Afin de pouvoir comparer des bâtiments exposés à des charges de neige et de pluie similaires, l'ingénierie de la structure d'acier et des composantes

structurales en acier du scénario de référence a été basée sur un bâtiment qui n'a compartimentation dans l'aire d'élevage principale et où 100 % des éléments structuraux supportant la toiture étaient en acier et en béton et qui a été récemment construit dans la région de Victoriaville, soit près de Ferme Berni (2001) inc.

Les quantités des composantes structurales associées à la structure d'acier ont été estimées par Yves Roy, ing., de Consultants Lemay & Choinière inc. à partir des coupes présentées à la section 1.4 du rapport de GES.

Les quantités des composantes de revêtement installées sur la structure ont été estimées par Yves Roy, ing. de Consultants Lemay & Choinière inc. à partir des coupes présentés à la section 1.4 du rapport de GES.

Je, soussigné Yves Roy, ing. de Consultants Lemay & Choinière inc., atteste que les calculs de quantités de matériaux du bâtiment réel construit ont une précision de plus 95 %, tel que demandé dans le protocole Quantification GES matériaux de structure.

Je, soussigné Yves Roy, ing. de Consultants Lemay & Choinière inc., atteste que les estimations de quantités de matériaux du bâtiment de référence ont une précision de plus 80 %, tel que demandé dans le protocole Quantification GES matériaux de structure.

Je, soussigné Yves Roy, ing. de Consultants Lemay & Choinière inc., certifie que les renseignements fournis et tous documents transmis comme preuve sont complets et exacts.

Ange-Gardien, le 19 octobre 2023



Yves Roy, ing.
Consultants Lemay & Choinière inc.
Responsable du projet GES

Annexe 3 : Détails des calculs des quantités de matériaux

Tableau 6 : Calcul des matériaux du bâtiment réel construit

Composition de la toiture					
	Détails (composition 1)	kg/m2	Aire applicable (m2)	Longueur applicable (m)	Poids total kg
Poutres de bois principales (fermes de toit) (Art Massif)	LAMELLÉ-COLLÉ EP 20F-E, voir tableaux de détails des pièces	N/A	N/A		161420,955
Poutre secondaire et solives de toit (Art Massif)	NORDIC LAM+ 24F-ES/NPG, voir tableaux de détails des pièces	N/A	N/A		145096,727
Colonne de bois (Art Massif)	LAMELLÉ-COLLÉ EP 20F-EX C, voir tableaux de détails des pièces	N/A	N/A		2088,81818
Entremises et support (Art Massif)	NORDIC LAM 24F-1,9E, voir tableaux de détails des pièces	N/A	N/A		2186,59091
Colonnes de bois pour les murs de bouts (Barette structural)	NORDIC LAM 24F-1,9E	N/A	N/A		1544,21296
Entremises et support dans les murs de bout (Barette structural)	NORDIC LAM 24F-1,9E	N/A	N/A		5107,23363
Total des colonnes d'aciers (Art Massif)	CSA G40,20-350W / W8x40 et W12x53 avec plaques d'attache	N/A	N/A		47349,1227
Poids total tirants (Art Massif)	Voir détails dans les tableaux de pièces	N/A	N/A		1295,90711
Total boulons, vis, clous (Art Massif)	Voir détails dans les tableaux de pièces	N/A	N/A		1629,12414
Poids total colonne HSS mur de bout	Voir détails dans les tableaux de pièces	N/A	N/A		3237,33333
Poids total plaques mur de bout	Voir détails dans les tableaux de pièces	N/A	N/A		100,407723
Poids total cornière mur de bout	Voir détails dans les tableaux de pièces	N/A	N/A		298
Poids total boulons et vis mur de bout	Voir détails dans les tableaux de pièces	N/A	N/A		193,101849
Panneau métallique isolé (tôle)	SÉRIE HR (HR3) Metal Panel (2X26 Gauge G90/AZ50) 3" d'épaisseur	8,73938092	8016,327864		70057,7428
Panneau métallique isolé (uréthane)	3" de polyuréthane dans le panneau à 40 kg/m3	3,048	8016,327864		24433,7673
Vis pour panneau métallique isolé	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,085380895	8016,327864		684,441251
Composition des murs latéraux fermés					
	Détails (coupe 3,1)	kg/m2			
Panneau métallique isolé (tôle)	Mesa (DM40) Metal Panel (2X26 Gauge G90/AZ50) 3" d'épaisseur	8,73938092	280,5493248		2451,82742
Panneau métallique isolé (uréthane)	3" de polyuréthane dans le panneau à 40 kg/m3	3,048	280,5493248		855,114342
Vis pour panneau métallique isolé	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,170761791	280,5493248		47,9071051

Composition des murs de bout	Détails (coupe 1)	kg/m2			
Panneau métallique isolé (tôle)	Mesa (DM40) Metal Panel (2X26 Gauge G90/AZ50) 3" d'épaisseur	8,73938092	753,4831939		6584,97665
Panneau métallique isolé (uréthane)	3" de polyuréthane dans le panneau à 40 kg/m3	3,048	753,4831939		2296,61678
Vis pour panneau métallique isolé	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,170761791	753,4831939		128,666139

Tableau 7 : Calcul des matériaux du scénario de référence

Composition de la toiture					
	Détails (composition 1)	kg/m²	Aire applicable (m²)	Longueur applicable (m)	Poids total kg
Tôle de toiture 24G	Vicwest CL840	6,639976565	8016,32786		53228,2292
Vis pour tôle de toiture 24G	#12-14 x 1-1/4" Self Drilling Screws Hex Washer Head Unslotted W/ Bonded Washer Zinc Cr+3 (2,000/Bulk Pkg.(28,44 lbs))	0,042076857	8016,32786		337,30188
Total ferme de toit triangulé	Ensemble du truss d'acier excluant poteau et contreventement	10,15252052	7396,6251		75094,3881
Total girts de toit	Voir détails de la structure de référence	9,263945803	8016,32786		74262,8269
Total HSS entre les fermes de toit	Voir détails de la structure de référence	1,661995092	7396,6251		12293,1546
Total support en L acier et tiges	Voir détails de la structure de référence	0,778474349	7396,6251		5758,08291
Total boulons	Voir détails de la structure de référence	0,131873259	7396,6251		975,417055
Girts de plafond	Canam 305S89-218M (1200S350-86 - C12x6.4) à 9.23 kg/m	3,81274068	7344,14139		28001,3066
Boulons pour girts de plafond	1/2" X 1 1/2 " (19,2 lbs/100 unités)	0,019712781	7344,14139		144,773452
Panneau métallique isolé (tôle)	Mesa (DM40) Metal Panel (2X26 Gauge G90/AZ50) 3" d'épaisseur	8,73938092	7344,14139		64183,2491
Panneau métallique isolé (uréthane)	3" de polyuréthane dans le panneau à 40 kg/m3	3,048	7344,14139		22384,943
Vis pour panneau métallique isolé	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,085380895	7344,14139		627,049367
Composition des murs acier côté					
Total colonnes W8X24 et W10X39 fermes de toit principales	Ajout des raidisseurs, des plaques des bases et des supports de corniches	4,752463298	7396,6251		35152,1893
Contreventement acier - tige 1" (7 sections de 24' contreventées par côté)	Tiges de 1 " à 2,405 lb/ft (3,579 kg/m)	0,046813671	7396,6251		346,263174
Composition des murs acier bout	Détails	kg/m			
Colonne d'acier W6@15	15lb/pi. lin. (Poids par longueur de colonnes)	22,36936292		174,256398	3898,00461

Boulon en haut	Tiges de 5/8 " (0.914 lbs/ft) (poids par longueur de mur en considérant une colonne au 14' en moyenne)	0,059350649		111,959136	6,64484742
Composition des murs latéraux ventilation	Détails (Coupe 6)	kg/m			
Tôle lisse 28G	Tôle supervic 28G (0,967 lb/pi² selon vickest)	6,013466356		201,981816	1214,61086
Vis à tôle	#10 - Vis de toiture en métal boîte de 500 pour 3,24 kg	0,177307087		201,981816	35,8128073
Soffite perforé	Tôle 28G pour soffite (0,967 lb/pi² selon vickest)	5,768313052		201,981816	1165,09435
Bois pour le linteau	Bois de charpente SPF NO 1 ou 2 (500 kg/m³)	10,64514		201,981816	2150,12471
Vis pour le bois	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,076381206		201,981816	15,4276148
Composition des murs latéraux fermés	Détails (coupe 3,1)	kg/m²			
Tôle lisse 28G	Tôle supervic 28G (0,967 lb/pi² selon vickest)	4,721218631	266,501995		1258,21418
Vis à tôle	#10 - Vis à tôle 2" en métal boîte de 500 pour 3,24 kg	0,069602578	266,501995		18,5492259
Latte de clouage 1" x 4" à 24" c/c	Bois de charpente SPF NO 1 ou 2(500 kg/m³)	1,3890625	266,501995		370,187927
Clous pour latte de clouage 1" x 4" à 24" c/c	Clous communs 3" (1 kg=148 clous)	0,072575261	266,501995		19,3414517
Colombage de 2" x 8" à 24" c/c+ entremise au 48"	Bois de charpente SPF NO 1 ou 2(500 kg/m³)	8,63203125	266,501995		2300,45355
Clous pour les colombages	Clous communs 3 1/2" (1 kg=107 clous)	0,100384473	266,501995		26,7526622
Panneau métallique isolé (tôle)	Mesa (DM40) Metal Panel (2X26 Gauge G90/AZ50) 3" d'épaisseur	8,73938092	242,583569		2120,03021
Panneau métallique isolé (uréthane)	3" de polyuréthane dans le panneau à 40 kg/m³	3,048	242,583569		739,394717
Vis pour panneau métallique isolé	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,170761791	242,583569		41,4240046
		kg/m			
Tôle lisse 28G	Tôle supervic 28G (0,967 lb/pi² selon vickest)	3,244676092		62,279784	202,077726
Vis à tôle	#10 - Vis de toiture en métal boîte de 500 pour 3,24 kg	0,095669291		62,279784	5,9582628
Soffite perforé	Tôle 28G pour soffite (0,967 lb/pi² selon vickest)	5,768313052		62,279784	359,249291
Bois pour le linteau	Bois de charpente SPF NO 1 ou 2(500 kg/m³)	10,64514		62,279784	662,97702
Vis pour le bois du linteau	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,076381206		62,279784	4,75700504
Composition des murs de bout	Détails (coupe 1)	kg/m²			
Tôle 28G	Tôle supervic 28G (0,967 lb/pi² selon vickest)	4,721218631	743,586902		3510,63634

Vis à tôle	#10 - Vis à tôle 2" en métal boîte de 500 pour 3,24 kg	0,069602578	743,586902		51,7555653
Entremise de 2" x 8" à 24" c/c + support à mi-portée au 48"	Bois de charpente SPF NO 1 ou 2(500 kg/m ³)	8,63203125	743,586902		6418,66538
Clous pour les colombages	Clous communs 3 1/2" (1 kg=107 clous)	0,100384473	743,586902		74,6445789
Panneau métallique isolé (tôle)	Mesa (DM40) Metal Panel (2X26 Gauge G90/AZ50) 3" d'épaisseur	8,73938092	548,732326		4795,58082
Panneau métallique isolé (uréthane)	3" de polyuréthane dans le panneau à 40 kg/m ³	3,048	548,732326		1672,53613
Vis pour panneau métallique isolé	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,170761791	548,732326		93,7025146
		kg/m			
Tôle lisse 28G	Tôle supervic 28G (0,967 lb/pi ² selon vickest)	3,244676092		59,841384	194,165908
Vis à tôle	#10 - Vis de toiture en métal boîte de 500 pour 3,24 kg	0,095669291		59,841384	5,7249828
Soffite perforé	Tôle 28G pour soffite (0,967 lb/pi ² selon vickest)	2,884156526		59,841384	172,591918
Support des corniches en bois	Bois de charpente SPF NO 1 ou 2(500 kg/m ³)	2,661285		59,841384	159,254978
Vis pour le bois de support de corniches	#10-16 x 3" F/T Phillips Pan Head, #3 Point Self Drilling Screws Zinc Cr+3 (1100/Bulk Pkg (18,78 lbs))	0,250594509		59,841384	14,9959223

**Annexe 4 : Rapports Quantification de la réduction des émissions de gaz à effet de serre
attribuables à la fabrication de matériaux de structure d'une infrastructure réalisée par
Rosaline Larivière-Lajoie, ing. de Cecobois le 22 septembre 2023**



**Quantification de la réduction
des émissions de gaz à effet de serre
attribuables à la fabrication
de matériaux de structure d'une infrastructure**



Crédit photo : Consultants Lemay Choinière

Projet réalisé : Ferme Berni

Rapport produit dans le cadre du programme d'innovation en
construction bois

Client : Consultants Lemay Choinière
Suite 200, 95A Route 235
Ange-Gardien, QC, J0E 1E0

Étude réalisée par : Rosaline Larivière-Lajoie, ing.

Approuvée par : Caroline Frenette, ing.

Date : 22 septembre 2023

1 Contexte

Le programme d'innovation en construction bois (PICB) du ministère des Ressources Naturelles et des Forêts (MRNF) s'inscrit dans la mise en œuvre de la Politique d'intégration du bois dans la construction afin de favoriser la réalisation de projets qui ont pour but de transformer les pratiques de construction et de rénovation dans les secteurs non résidentiels et multifamiliaux. Le programme, financé dans le cadre du Plan pour une économie verte 2030 (PEV 2030), vise à soutenir la conception ou la construction de bâtiments ou d'ouvrages de génie civil en bois comportant une innovation ou démontrant des besoins d'efforts supplémentaires en raison de l'utilisation du matériau bois.

Les objectifs du programme sont précisément les suivants :

- Réduire l'empreinte carbone des bâtiments par une utilisation accrue de matériaux en bois dans la construction des nouveaux bâtiments et ouvrages de génie civil au Québec;
- Accroître l'utilisation du matériau bois dans la construction des nouveaux bâtiments et ouvrages de génie civil ;
- Acquérir des connaissances en vue d'appuyer et d'accélérer l'évolution de la réglementation et des politiques publiques favorisant l'utilisation des produits du bois dans la construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil.

Le programme est composé de deux catégories où des projets peuvent être admis :

- Aide à la conception : Activités liées à un projet de conception de bâtiments ou d'ouvrages de génie civil en bois comportant une innovation ou nécessitant des efforts supplémentaires en raison de l'utilisation du matériau bois. Le projet de conception doit être lié à un projet concret au Québec et en processus de réalisation.
- Solutions innovantes pour les constructions en bois : Projets de construction de bâtiments ou d'ouvrages de génie civil en bois comportant une innovation jugée nécessaire, c'est-à-dire que le produit ou le procédé présente un avantage déterminant par rapport aux solutions sur le marché et par rapport au secteur d'activité à l'échelle provinciale. Le projet doit démontrer un risque technologique (ex. : demande de mesures équivalentes) et un potentiel de réduction des GES.

Tous les projets doivent faire l'objet d'une étude de quantification de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) conforme aux spécifications et aux lignes directrices de la partie 2 de la norme ISO 14064 indiquant les GES évités par rapport à un scénario de référence.

Consultants Lemay Choinière ont mandaté Cecoboïs pour réaliser l'étude de quantification de la réduction des GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure de la **Ferme Berni**. Basée les informations fournies par **Consultants Lemay Choinière**, l'évaluation GES a été réalisée à l'aide de l'outil Gestimat en date du 14 septembre 2023.

La vérification du rapport par une tierce partie qui en détient les compétences, conformément aux spécifications et aux lignes directrices de la partie 3 de la norme ISO 14064, reste la responsabilité de **Consultants Lemay Choinière**.

2 Objectifs

L'objectif de cette étude est de quantifier la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet réalisé, soit la **Ferme Berni** en le comparant avec un scénario de référence.

3 Méthodologie

La quantification de la réduction des émissions de GES attribuables à la fabrication de matériaux de structure du bâtiment est réalisée en le comparant avec un scénario de référence à l'aide d'une analyse Gestimat.

Cette analyse se réfère au **Protocole de quantification des émissions de gaz à effet de serre attribuables à la fabrication de matériaux de structure pour divers scénarios de bâtiments**, produit par GCM Consultants dans le cadre du programme de vitrine technologique pour les bâtiments et les solutions innovantes en bois, en date du 27 septembre 2018.

3.1 Gestimat

Développé par Cecobois dans le cadre de la Charte du bois et financé par le Fonds vert, Gestimat est un outil d'estimation des émissions de GES lié à la fabrication des matériaux de structure qui permet de comparer les émissions de GES de différents scénarios de bâtiment dans un contexte québécois.

Gestimat quantifie les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure d'un bâtiment en multipliant les quantités de matériaux par un facteur d'émissions de GES spécifique à chaque matériau. Ces facteurs d'émissions de GES des matériaux ont été développés en collaboration avec le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG), affilié à l'école Polytechnique de l'Université de Montréal.

La modélisation des scénarios peut être faite en utilisant l'estimation de quantités de matériaux à l'aide de bâtiments types ou en entrant directement les quantités de matériaux spécifiques à un projet donné.

Dans le cadre du programme d'innovation en construction bois, les quantités de matériaux du projet réalisé et du scénario de référence doivent être développées selon 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**. Ces données ont été fournies à Cecobois par **Consultants Lemay Choinière**.

3.2 Limitations de l'analyse Gestimat

Gestimat permet de quantifier, d'analyser et de comparer les émissions de GES dues à la fabrication des matériaux (du berceau à la porte de l'usine, c'est-à-dire fabriqué et prêt pour l'expédition) de différents scénarios comparables de structure de bâtiment.

Les émissions de GES sont quantifiées en multipliant les quantités de matériaux aux facteurs d'émissions de GES propres à chacun de ces matériaux. Ces facteurs d'émissions de GES, fournis par le CIRAD, sont tirés de ses bases de données d'inventaire de cycle de vie. Les émissions de GES liées aux étapes du cycle de vie du bâtiment autre que celle de la fabrication, telles que le pré-usinage en préfabrication, la construction, l'exploitation, le transport des matériaux et la fin de vie, ne font pas partie de la portée de l'outil.

3.3 Projet réalisé – Ferme Berni

Le projet de construction est un nouveau bâtiment hébergeant les activités laitières de la Ferme Berni. Sa construction a nécessité quelques demandes de mesures différentes auprès du Code de construction agricole (CNCBA), en raison de l'aire d'élevage dépassant 4 800 m² sans aucune compartimentation. Situé à Sainte-Élizabeth-de-Warwick, le bâtiment comprend une étable laitière avec traite robotisée pouvant accueillir 400 vaches laitières en logettes et 60 vaches en enclos. Le bâtiment compte également une laiterie et une pouponnière à veaux, mais ces sections sont exclues de l'évaluation GES. En effet, ces deux sections, construites à l'aide d'une structure traditionnelle, sont considérées identiques dans les deux scénarios analysés (projet et scénario de référence), et elles n'affectent pas le choix de la structure principale de l'étable.

La superficie au sol de la section étable faisant l'objet de la présente évaluation GES est de 7397 m². L'étable est composée d'une structure hors sol hybride en bois massif et en acier. La structure de la toiture est composée de poutres principales hybride en bois lamellé-collé (BLC) avec tirants en acier. Les poutres secondaires et la structure périphérique sont en BLC. La majorité des colonnes composant les murs latéraux et les murs de bout, ainsi que les colonnes centrales, sont en acier. Les murs extérieurs et la toiture sont recouverts de panneaux métalliques isolants (PMI) qui sont inclus dans la présente évaluation GES. Les fondations et la dalle sur sol en béton armé sont exclues car elles sont considérées identiques pour les deux scénarios analysés.

Les quantités de matériaux de structure pour le projet réalisé ont été entrées dans Gestimat selon les données fournies par **Consultants Lemay & Choinière** (Annexe 1).

3.4 Scénario de référence

Le scénario de référence est un bâtiment entièrement en acier ayant les mêmes superficies, hauteurs de travail et usage que le projet réalisé. Pour la quantification des composantes structurales en acier, un bâtiment similaire récemment construit dans la région de Victoriaville a été utilisé. Bien que ce bâtiment diffère légèrement de la Ferme Berni, des charges similaires de neige et de pluie ont été considérées. Les quantités de matériaux de

structure de ce bâtiment ont été ajustées en fonction de la superficie de la Ferme Berni afin de garantir la comparabilité avec le projet.

La structure du scénario de référence comprend des colonnes en acier au périmètre et au centre du bâtiment qui supportent une structure de toiture composée de fermes de toit et d'entretoises en acier. Des entremises en acier sont présentes entre les colonnes au périmètre du bâtiment et une partie des charges latérales est reprise par des contreventements en acier. Les murs de remplissage en ossature légère en bois et les PMI des murs extérieurs et du plafond sont inclus dans la présente évaluation GES. De plus, les matériaux de l'entretoit qui permettent de protéger les éléments de structures d'acier contre la corrosion sont également inclus dans l'évaluation GES. Comme pour le projet réalisé, les fondations et la dalle sur sol en béton armé sont exclues de l'évaluation GES.

Les quantités de matériaux de structure pour le scénario de référence ont été entrées dans Gestimat selon les données fournies par **Consultants Lemay & Choinière** (Annexe 2).

3.5 Rôles et responsabilités

Dans le cadre du programme d'innovation en construction bois, Cecoboïs a été mandaté par **Consultants Lemay Choinière** pour quantifier la réduction des émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet réalisé, la **Ferme Berni** en le comparant avec un scénario de référence.

Cette analyse a été réalisée à l'aide de Gestimat comme spécifié par 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**, produit par GCM Consultants, en date du 27 septembre 2018.

Les quantités de matériaux de structure pour le projet réalisé ainsi que pour le scénario de référence ont été fournies par **Consultants Lemay Choinière**. La qualité, l'exactitude et la conformité à ISO 14064-2 de ces données demeurent la responsabilité de l'entreprise qui les a fournies, et n'ont pas été validées par Cecoboïs.

La vérification du rapport d'analyse par une tierce partie qui en détient les compétences, conformément aux spécifications et aux lignes directrices de la partie 3 de la norme ISO 14064, reste également la responsabilité de **Consultants Lemay Choinière**.

4 Résultats et analyse

4.1 Projet réalisé – Ferme Berni

Les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet réalisé sont estimées à 491 035 kg éq. CO₂, soit 66 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher. Les résultats détaillés sont présentés à l'annexe 3.

La structure de la toiture et les colonnes représentent environ 32 % des émissions de GES associées à la fabrication des matériaux de structure du bâtiment, soit 155 806 kg éq. CO₂. En effet, 14 % des émissions de GES sont causées par les poutres en BLC, alors que 18 % de ces émissions sont dues à l'acier des poutres et colonnes et des assemblages (figure 1).

Les PMI des murs extérieurs et de la toiture sont responsables, respectivement, de 8 % et 60 % des émissions de GES associées à la fabrication des matériaux de structure du bâtiment, soit 39 704 kg éq. CO₂ et 295 526 kg éq. CO₂. Les émissions de GES associées aux PMI, modélisés comme matériau « autres », ont été calculées à partir de la DEP de Norbec « [Panneaux métalliques isolants NOROC & NOREX et Panneaux à cames-friction NORBEC](#) ».

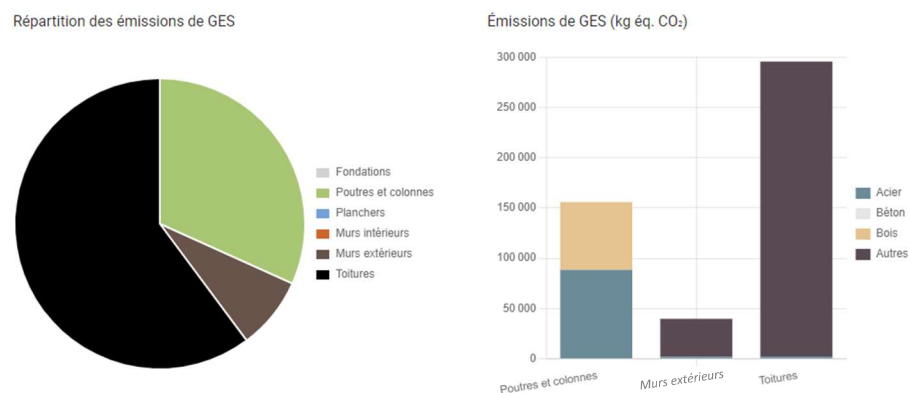


Figure 1 - Émissions de GES attribuables à la structure du projet réalisé

4.2 Scénario de référence

Les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du scénario de référence sont estimées à 903 094 kg éq. CO₂, soit 122 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher. Les résultats détaillés sont présentés à l'annexe 4.

Les poutres et colonnes en acier, dont les poutres principales composant la toiture représentent environ 50 % des émissions de GES associées à la fabrication des matériaux de structure du bâtiment, soit 447 892 kg éq. CO₂. Les PMI du plafond et les matériaux composant l'entretoit sont responsables de 44 % des émissions de GES associées à la fabrication des matériaux de structure du bâtiment, soit 403 124 kg éq. CO₂. Les PMI, la structure en ossature légère en bois et les contreventements en acier des murs extérieurs sont, quant à eux, responsable de 6 % des émissions de GES associées à la fabrication des matériaux de structure du bâtiment, soit 52 078 kg éq. CO₂. Les émissions de GES associées

aux PMI ont été calculées à partir de la DEP de Norbec « [Panneaux métalliques isolants NOROC & NOREX et Panneaux à cames-friction NORBEC](#) »

En comparant les matériaux, l'acier représente la majorité des émissions de GES du scénario, soit 67 % tandis que matériau « Autres », dans ce cas-ci les PMI des murs et du plafond représente 33 % des émissions de GES totales (figure 2).

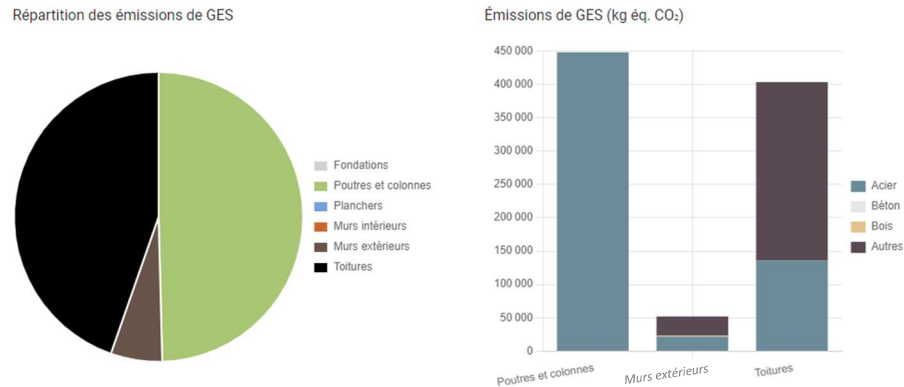


Figure 2 - Émissions de GES attribuables à la structure du scénario de référence

4.3 Réduction des émissions de GES

Le projet réalisé amène une réduction d'émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure de 412 059 kg éq. CO₂, qui représente une réduction de 56 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher, soit une diminution de 46 % par rapport au scénario de référence. Les résultats détaillés sont présentés à l'annexe 5.

La différence entre les scénarios est attribuable principalement au type de structure utilisé, soit une structure mixte bois-acier pour le projet réalisé comparativement à une structure majoritairement en acier pour le scénario de référence. En effet, dans le projet réalisé, la structure de la toiture est composée de poutres principales et secondaires en BLC comparativement à une structure conventionnelle en acier dans le scénario de référence. Cet écart peut également s'expliquer par la présence d'un entretoit protégeant les éléments de structures d'acier contre la corrosion dans le scénario de référence.

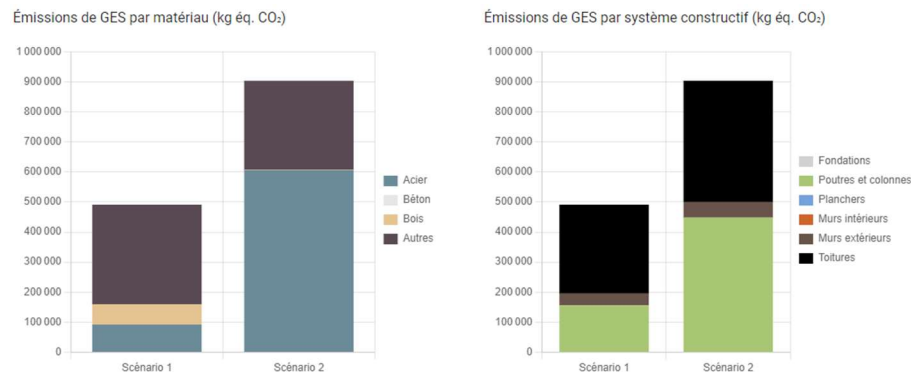


Figure 3 - Comparaison des émissions de GES attribuables à la structure du projet réalisé (1) et du scénario de référence (2)

5 Conclusion

Dans le cadre du programme d'innovation en construction bois du MRNF, Cecobois a été mandaté par **Consultants Lemay Choinière** pour quantifier la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet réalisé, la **Ferme Berni** en le comparant avec un scénario de référence.

Les quantités de matériaux de structure pour le projet réalisé, ainsi que pour le scénario de référence, ont été fournies par **Consultants Lemay Choinière**. La responsabilité de la qualité, de l'exactitude et de la conformité au **Protocole de quantification des émissions de gaz à effet de serre attribuables à la fabrication de matériaux de structure pour divers scénarios de bâtiments** des données appartient exclusivement à l'entreprise qui les a fournies.

La quantification des émissions de GES a été réalisée à l'aide d'une analyse Gestimat, complétée en date du 14 septembre 2023, à partir des informations et des quantités de matériaux fournies.

Les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet réalisé sont estimées à 491 035 kg éq. CO₂, soit 66 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher, alors que les émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du scénario de référence sont estimées à 903 094 kg éq. CO₂, soit 122 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher.

Selon ces données, le projet réalisé entraîne **une réduction d'émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure de 412 059 kg éq. CO₂**, soit une réduction de 56 kg éq. CO₂/m² de superficie totale de plancher.

La vérification du rapport d'analyse par une tierce partie qui en détient les compétences, conformément aux spécifications et aux lignes directrices de la partie 3 de la norme ISO 14064, demeure la responsabilité de **Consultants Lemay Choinière**.

Annexe 1

Quantités de matériaux de structure pour le projet réalisé

Quantité de matériaux			Informations complémentaires	
Matériau	Quantité	Unité	Méthode d'estimation	Commentaires (ex. informations sur le matériau, justification de la précision)
Fondations				
AJOUTER				
Poutres et colonnes				
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	47.35	t	Plans et devis	Total des colonnes d'acier (Art Massif)
HSS	3.24	t	Plans et devis	Poids total colonne HSS mur de bout
BLC	287.92	m³	Plans et devis	Poutre de bois principales (fermes de toit) (Art Massif)
BLC	258.80	m³	Plans et devis	Poutre secondaire et solives de toit (Art Massif)
BLC	3.73	m³	Plans et devis	Colonne de bois (Art Massif)
BLC	3.90	m³	Plans et devis	Entremises et support (Art Massif)
BLC	2.75	m³	Plans et devis	Colonnes de bois pour les murs de bouts (Barette structural)
BLC	9.11	m³	Plans et devis	Entremises et support dans les murs de bout (Barette structural)
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	1.30	t	Plans et devis	Poids total tirants (Art Massif)
Vis, écrous et boulons	1586.20	kg	Fournisseurs	Total boulons, vis et goujons (Art Massif)
Clous	39.51	kg	Fournisseurs	Clous (Art Massif)
AJOUTER				
Planchers				
AJOUTER				
Toiture				
Autres	293397.60	kg éq. CO2	Plans et devis	Panneau métallique isolé (PMI) de toiture : DEP
Vis, écrous et boulons	684.44	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé
AJOUTER				
Murs extérieurs				
Autres	37845.59	kg éq. CO2	Plans et devis	Panneau métallique isolé (PMI) mur latéraux et de bout : DEP
Vis, écrous et boulons	47.91	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé mur latéraux fermés
Vis, écrous et boulons	128.66	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé mur de bout
Plaques d'acier épaisses	100.41	kg	Plans et devis	Poids total plaques mur de bout
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	0.298	t	Plans et devis	Poids total cornière mur de bout
Vis, écrous et boulons	193.1	kg	Plans et devis	Poids total boulons et vis mur de bout
AJOUTER				
Murs intérieurs				
AJOUTER				

Annexe 2

Quantités de matériaux de structure pour le scénario de référence

QUANTITÉ DE MATÉRIAU			INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES	
Matériau	Quantité	Unité	Méthode d'estimation	Commentaires (ex. informations sur le matériau, justification de la précision)
Fondations				
AJOUTER				
Poutres et colonnes				
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	35.152	t	Note de calculs	Total colonnes acier
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	3.898	t	Note de calculs	Colonne d'acier de bout de bâtiment W6@15
Vis, écrous et boulons	6.64	kg	Note de calculs	Boulons pour colonne de bout
Poutrelles d'acier ajourées	75.094	t	Note de calculs	Total ferme de toit triangulé
Vis, écrous et boulons	975.41	kg	Note de calculs	Total boulons ferme de toit d'acier
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	74.263	t	Note de calculs	Total girts de toit
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	28.001	t	Note de calculs	Girts de plafond
Vis, écrous et boulons	144.73	kg	Note de calculs	Boulons pour girts de plafond
HSS	12.293	t	Note de calculs	Total HSS entre les fermes de toit
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	5.758	t	Note de calculs	Total support en L acier (poutre secondaires) et tiges
AJOUTER				
Planchers				
AJOUTER				
Toiture				
Plaques d'acier minces	53228.23	kg	Note de calculs	Tôle de toiture 24G de toit
Vis, écrous et boulons	337.30	kg	Note de calculs	Vis pour tôle de toiture 24G de toit
Autres	267587.77	kg éq. CO2	Note de calculs	Panneau métallique isolé (PMI) de plafond
Vis, écrous et boulons	627.05	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé de plafond
AJOUTER				
Murs extérieurs				
Profilé extrudé moyen (W,S,C,L)	0.346	t	Note de calculs	Contreventement acier - tige 1" (7 sections de 24' contreventées par côté)
Plaques d'acier minces	8076.64	kg	Note de calculs	Tôle 28G et soffite
Vis, écrous et boulons	152.98	kg	Note de calculs	Visse à tôle
Bois d'œuvre	24.12	m³	Note de calculs	Bois (ossature légère)
Clous	120.74	kg	Note de calculs	Clous pour les colombages
Autres	28962.16	kg éq. CO2	Note de calculs	Panneau métallique isolé (PMI) de murs
Vis, écrous et boulons	135.13	kg	Note de calculs	Vis pour panneau métallique isolé
AJOUTER				
Murs intérieurs				
AJOUTER				

Annexe 3

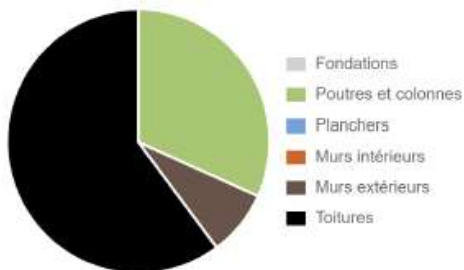
Rapport Gestimat – Projet réalisé

Analyse des émissions de gaz à effet de serre (GES)

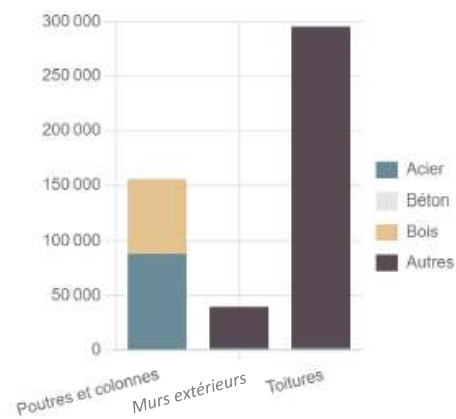
Scénario : Projet

Nom du projet : PVT_Ferme_Berni
 Numéro du projet : 2020.266
 Type de projet : Saisie détaillée
 Description : -

Répartition des émissions de GES



Émissions de GES (kg éq. CO₂)



Émissions de GES (kg éq. CO₂)

	Acier	Béton	Bois	Autres	Total	%
Fondations	0	0	0	0	0	0 %
Poutres et colonnes	88 427	0	67 379	0	155 806	31,7 %
Planchers	0	0	0	0	0	0 %
Murs intérieurs	0	0	0	0	0	0 %
Murs extérieurs	1 858	0	0	37 846	39 704	8,1 %
Toitures	2 128	0	0	293 398	295 526	60,2 %
Total	92 413	0	67 379	331 243	491 035	100 %
GES par m²	12	0	9	45	66	

Superficie totale de plancher : 7397 m²



Date de modification : 2023-09-14 10 h 58 min 43 s
 Date de génération : 2023-09-19 09 h 32 min 49 s

Annexe 4

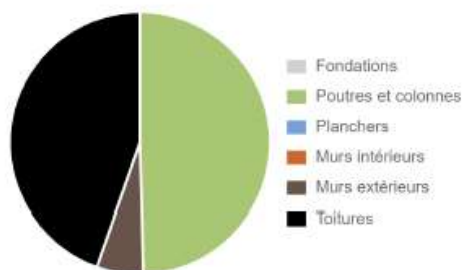
Rapport Gestimat – Scénario de référence

Analyse des émissions de gaz à effet de serre (GES)

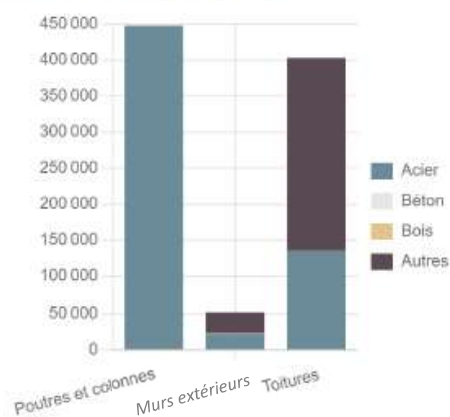
Scénario : Référence

Nom du projet : PVT_Ferme Berni
 Numéro du projet : 2020.266
 Type de projet : Saisie détaillée
 Description : -

Répartition des émissions de GES



Émissions de GES (kg éq. CO₂)



Émissions de GES (kg éq. CO₂)

	Acier	Béton	Bois	Autres	Total	%
Fondations	0	0	0	0	0	0 %
Poutres et colonnes	447 892	0	0	0	447 892	49,6 %
Planchers	0	0	0	0	0	0 %
Murs intérieurs	0	0	0	0	0	0 %
Murs extérieurs	21 813	0	1 302	28 962	52 078	5,8 %
Toitures	135 536	0	0	267 588	403 124	44,6 %
Total	605 242	0	1 302	296 550	903 094	100 %
GES par m ²	82	0	0	40	122	

Superficie totale de plancher : 7397 m²



Date de modification : 2023-09-14 10 h 58 min 43 s
 Date de génération : 2023-09-19 10 h 14 min 26 s

Annexe 5

Rapport Gestimat – Comparaison des scénarios

Rapport sommaire de l'analyse comparative des scénarios

Informations du projet			
Nom du projet	PVT_Ferme_Berni	Type de projet	Construction neuve
Numéro du projet	2020.266	Type de bâtiment	Autres
Catalogue	Québec	Nombre d'étages	1
Emplacement	Sainte-Élizabeth-de-Warwick	Superficie totale (m ²)	7397
Année prévue	2022-2023	Superficie au sol (m ²)	7397
Budget prévu	8.6 M\$	Version de l'analyse	-
Description :-			

Scénarios analysés			
	Nom	GES totales (kg éq. CO ₂)	Description
Scénario 1	Projet	491 035	
Scénario 2	Référence	903 094	

Scénario retenu			
	Numéro	Type de structure	Émissions GES (kg éq. CO ₂)
Scénario de référence	2	Acier	903 094
Scénario retenu	1	Ossature légère en bois	491 035

Émissions de GES évitées: 412 059

Rapport sommaire de l'analyse comparative des scénarios

Comparabilité des scénarios			
		Scénario 1	Scénario 2
Saisie inclue bâtiment(s) type(s)		Non	Non
Nombre d'éléments modélisés		12	12
Poutres et colonnes	tonne acier	53,2	132
	m³ bois	566	
Murs extérieurs	m² de murs		

Superficie totale de plancher: 7397 m²

Superficie au sol: 7397 m²

Validation des scénarios		
	Scénario complété	Commentaires sur la comparabilité des scénarios
Scénario 1	Oui	-
Scénario 2	Oui	-

Rapport sommaire de l'analyse comparative des scénarios

Comparaison des scénarios

Émissions de GES (kg éq. CO₂)

	Scénario 1	Scénario 2
Nom	Projet	Référence
Type de structure	Ossature légère en bois	Acier
Saisie inclue bâtiment(s) type(s)	Non	Non
Par matériau		
■ Acier	92 413	605 242
■ Béton	0	0
■ Bois	67 379	1 302
■ Autres	331 243	296 550
Par système constructif		
■ Fondations	0	0
■ Poutres et colonnes	155 806	447 892
■ Planchers	0	0
■ Murs intérieurs	0	0
■ Murs extérieurs	39 704	52 078
■ Toitures	295 526	403 124
GES totales		
Total	491 035	903 094
GES par m ²	66	122
Choix des scénarios		
Scénario de référence		X
Scénario retenu	X	
Émissions de GES évitées	412 059	-
% de réduction	45,6	-

Superficie totale de plancher: 7397 m²

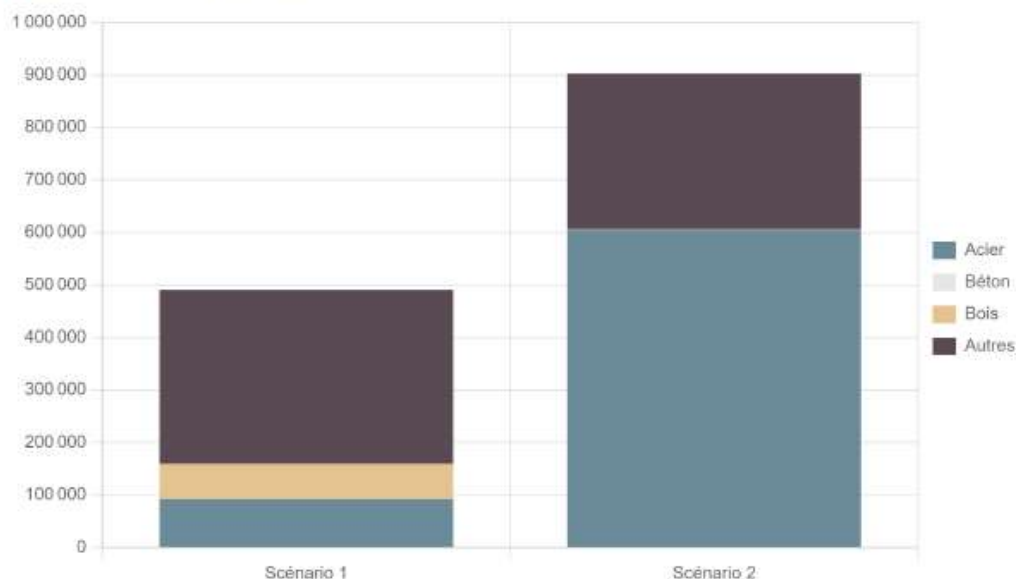


Date de modification: 2023-09-14 10 h 58 min 43 s
Date de génération: 2023-09-19 10 h 14 min 07 s

Rapport sommaire de l'analyse comparative des scénarios

Comparaison des scénarios

Émissions de GES par matériau (kg éq. CO₂)



Émissions de GES par système constructif (kg éq. CO₂)

