

# Méthodologie et résultats des analyses de cycle de vie

Patrimoine religieux pour le climat

8 mai 2024



Si vous souhaitez plus d'informations sur notre méthodologie ou pour toute question, n'hésitez pas à nous contacter : [info@ecobatiment.org](mailto:info@ecobatiment.org) ou au 418-781-2463

## ÉCOBÂTIMENT

870, avenue De Salaberry, Bureau 224,

Québec (Québec) G1R 2T9

T. 418 781-2463

[ecobatiment.org](http://ecobatiment.org)



Ce projet est réalisé grâce à la participation financière du gouvernement du Québec, dans le cadre du programme Action-Climat Québec et rejoint les objectifs du Plan pour une économie verte 2030.

# Table des matières

<b>Méthodologie générale.....</b>	<b>6</b>
Définition des objectifs et champs d'étude.....	6
Cadre d'analyse de cycle de vie.....	6
Outil ACV Athena IE4B : utilisation et limites.....	7
Simulation de consommation énergétique et GES d'opération .....	9
Phases de l'ACV selon Athena IE4B .....	9
La séquestration et la libération du carbone des matériaux de bois.....	13
<b>Scénarios étudiés .....</b>	<b>14</b>
<b>Bâtiment existant.....</b>	<b>15</b>
Émissions GES intrinsèques de l'existant .....	15
Déterminer le coefficient d'émissions des matériaux anciens .....	15
Mortier.....	16
Pierre de moellon.....	18
Béton armé .....	18
Émissions GES d'opération de l'existant.....	20
Mode d'opération et habitudes d'occupation.....	20
Enveloppe.....	20
Énergie et système de chauffage.....	21
Ventilation .....	22
Éclairage.....	22
Autres charges .....	22
Eau chaude sanitaire.....	22
Climatisation .....	22
Modélisation des variantes des bâtiments .....	22
<b>Scénario 1 : Le bâtiment transformé .....</b>	<b>23</b>
Émissions GES intrinsèques des transformations.....	23
Typologies de conceptions .....	24
Liste des assemblages.....	26

Calculs des escaliers, rampes et garde-corps .....	32
Usages et matérialités des transformations .....	33
Émissions GES d'opération des transformations .....	37
Mode d'opération et habitude d'occupation .....	37
Enveloppe.....	37
Énergie et système de chauffage.....	37
Climatisation .....	38
Ventilation .....	38
Éclairage.....	38
Autres charges .....	38
Eau chaude sanitaire.....	39
<b>Scénario 2 : Le bâtiment comparatif neuf .....</b>	<b>40</b>
Émissions GES intrinsèques des comparatifs neufs.....	40
Principes généraux de la conception.....	40
Particularités de chacune des conceptions : .....	41
Émissions GES d'opération des comparatifs neufs .....	44
Mode d'opération et habitude d'occupation .....	44
Enveloppe.....	44
Énergie et systèmes mécaniques.....	44
Climatisation .....	44
Ventilation .....	44
Éclairage.....	45
Autres charges .....	45
Eau chaude sanitaire.....	45
<b>Interprétation des résultats .....</b>	<b>46</b>
Émissions GES intrinsèques.....	46
Choisir les matériaux d'assemblage .....	48
Comparer les émissions passées et futures .....	50
Entreprendre une transformation ou construire neuf ?.....	52
Des alternatives pour les émissions GES d'opération .....	63

<b>Conclusions et ouverture .....</b>	<b>65</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>67</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>69</b>

# MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

## Définition des objectifs et champs d'étude

L'exercice consiste à évaluer l'impact environnemental de 11 propositions de conversion d'immeubles issus du patrimoine religieux contre l'impact de leur démolition et remplacement par une nouvelle construction. Nous cherchons à valider l'hypothèse que la requalification du patrimoine bâti contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, nous espérons ébaucher des orientations pour la valorisation de notre patrimoine et pour le développement durable du parc immobilier québécois.

Les 11 bâtiments existants sont analysés selon deux scénarios :

1. Transformation : supposant la prolongation de la durée de vie de l'immeuble existant en changeant son usage grâce à des interventions intérieures et dans certains cas des agrandissements ;
2. Comparatif neuf : supposant la démolition de l'existant et son remplacement par un nouveau bâtiment contemporain abritant le même usage proposé dans la transformation.

## Cadre d'analyse de cycle de vie

L'analyse du cycle de vie (ACV) quantifie les impacts environnementaux associés au cycle de vie d'un « produit », de l'extraction des ressources jusqu'à sa fin de vie. Appliquée au bâtiment, elle permet de comparer différents scénarios ou stratégies et peut jouer un rôle clé dans la prise de décision associée à l'impact des matériaux et à la performance énergétique.

L'ACV est une approche qui permet de présenter et de comparer des données quantitatives sur les retombées environnementales du cycle de vie des immeubles. C'est l'outil d'étalonnage par excellence en bâtiment durable. L'ACV a toutefois des limites, elle évalue les aspects matériels et les flux énergétiques relatifs au milieu bâti, mais ne tient pas compte de la valeur culturelle, urbaine, sociale et historique qui est généralement associée aux bâtiments issus du patrimoine religieux.

L'ACV consiste à recenser les matériaux des assemblages constructifs et l'énergie consommée par le bâtiment au fil de son cycle de vie. Les résultats produits par l'analyse permettent de quantifier diverses catégories d'impacts environnementaux telles que le potentiel de réchauffement global, le potentiel d'acidification, le potentiel d'eutrophisation, le potentiel de déplétion ozonique, le potentiel de création d'ozone photochimique (smog), l'utilisation d'énergies non renouvelables et la consommation de combustibles fossiles.

Dans le contexte de cet exercice, le potentiel de réchauffement global est le paramètre examiné. Il représente la masse de gaz à effet de serre émis (comme le dioxyde de carbone, le méthane, ou le protoxyde d'azote), au kilogramme ou à la tonne d'équivalent CO<sub>2</sub>, c'est-à-dire que chacun des gaz est rapporté au pouvoir de réchauffement de la même masse de dioxyde de carbone. L'unité d'équivalent CO<sub>2</sub> est l'une des plus acceptées dans les méthodologies d'ACV (Athena, 2023). Par ailleurs, cette unité de comparaison est priorisée dans les

études de Iyer-Raniga et Wong (2012), Lucuik et al. (2010) et de Bin et Parker (2012), exemples sur lesquels notre méthodologie est basée.

L'ACV comporte deux principaux éléments, soit les émissions GES intrinsèques (*embodied*) du bâtiment et ses émissions GES d'opération (*operating*). Les émissions intrinsèques représentent les impacts environnementaux associés aux éléments tangibles de l'immeuble, depuis l'extraction des matériaux à leur fin de vie, incluant les transports correspondant à chacune des étapes. Chacun des matériaux ont des coefficients d'équivalent CO<sub>2</sub>, la production et installation du béton par exemple sont beaucoup plus émettrices que celles du bois. Par ailleurs, les phases du cycle de vie de notre étude se conforment à celles de la méthodologie d'Athena Impact Estimator, décrites ci-bas. Les émissions GES d'opération, quant à elles, comprennent l'énergie dépensée pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, la ventilation, les systèmes mécaniques de l'immeuble lors de la phase d'utilisation du bâtiment. L'impact environnemental des émissions d'opération dépend de la source d'énergie employée. Par exemple, le gaz naturel a un coefficient d'équivalent CO<sub>2</sub> plus élevé que celui de l'électricité, considérant qu'au Québec c'est majoritairement de l'hydroélectricité.

Le facteur temporel influence grandement l'interprétation des résultats de l'analyse cycle de vie. Nous incluons à l'exercice les impacts environnementaux de l'existant afin de considérer les répercussions du poids carbone déjà dépensé. En effet, selon Bin et Parker «comprendre l'impact des décisions passées est tout aussi important, parce qu'elles fournissent des informations essentielles pour la comparaison des technologies de construction, les débats sur la remise à neuf ou le remplacement et d'autres discussions » (Bin et Parker, 2012). Les événements déclencheurs des deux scénarios, soit le changement d'usage et la démolition suivie du remplacement, seraient effectués en 2023. L'analyse de cycle de vie de chacun des scénarios est cumulée sur une projection de 60 ans.

La durée de 60 ans est un standard souvent employé dans les analyses de cycle de vie, c'est par exemple le standard pour les ACV en Norvège (Berg et Fuglseth, 2018). Par ailleurs, elle représente la durée de vie moyenne des bâtiments conçus aujourd'hui. La mise à jour de 2011 du Buildings Energy Data Book identifie l'âge médian des bâtiments commerciaux de 53 à 65 ans, selon le type d'usage (US Department of Energy, 2012). Plusieurs des bâtiments existants à l'étude sont déjà âgés de plus de 100 ans, les méthodes de construction anciennes permettaient une espérance de vie plus longue. Quoique nous promouvons les constructions assurant une durée de vie plus longue, l'horizon de 60 ans représente la réalité de la construction contemporaine que nous souhaitons étudier.

## Outil ACV Athena IE4B : utilisation et limites

Le logiciel Athena Impact Estimator for Buildings (IE4B v5.5) est l'outil principal que nous utilisons pour les calculs des ACV. Il est créé par le groupe de recherche à but non lucratif canadien Athena Sustainable Materials Institute et il s'enligne avec les pratiques standard nord-américaines et se conforme aux méthodologies ISO et EN.

En saisissant les quantités d'assemblages des divers matériaux inventoriées pour un bâtiment, il produit des résultats relatifs aux multiples paramètres d'impacts environnementaux. Les émissions GES (en équivalent carbone) du cycle de vie du bâtiment sont calculées par Athena IE4B selon des données régionalisées tant pour les émissions intrinsèques que d'opération. Le logiciel propose une quinzaine de villes canadiennes et états-

uniennes pour géolocaliser les projets, dont Montréal et Québec. Ce choix permet d'informer le logiciel sur les sources énergétiques probables, de déterminer les modes de transports potentiels, d'approximer les distances moyennes de déplacements et de spéculer sur les technologies de fabrication appropriées selon le contexte (Athena, 2023). De sorte, Athena IE4B prend en compte, par exemple, que l'électricité des bâtiments au Québec provient surtout d'hydroélectricité, qui ne représente pas la même empreinte carbone que l'électricité produite au charbon.

La méthode de saisie des données est principalement par superficie ou par mètre linéaire d'assemblages typiques dans les constructions contemporaines. Par exemple, la saisie d'une dalle de béton calcule automatiquement la quantité de béton et d'acier d'armature. L'entrée des données dans Athena IE4B est organisée selon les catégories constructives suivantes :

- Fondations, soit les semelles et les dalles de fondations,
- Murs, incluant les murs extérieurs, intérieurs, porteurs et non porteurs. Les murs de fondations et les murs rideaux se retrouvent dans cette catégorie. Les portes et les fenêtres sont saisies à même les murs.
- Colonnes et poutres, une esquisse de trame structurale du bâtiment est nécessaire. Le nombre de colonnes et de poutres est entré dans le logiciel. Selon les portées et les charges déterminées, le logiciel estime les dimensions des éléments structuraux relatifs aux matérialités choisies.
- Planchers,
- Toits.

Athena IE4B permet de créer des assemblages pour ces catégories constructives grâce à une liste exhaustive de matériaux typiques. Toutefois, les finis ne peuvent pas être comptabilisés dans le logiciel. Plusieurs programmes de bâtiments durables, comme LEED v4, ne requièrent pas de prendre en compte les matériaux de finition dans les ACV, tels que les revêtements de planchers, les plafonds suspendus ou les finitions de murs (Athena, 2019). Par ailleurs, les finis peuvent avoir des cycles de remplacement très variés et peuvent être plus difficiles à prévoir. Il est cependant à noter que les finis des bâtiments existants sont comptabilisés dans les ACV. D'une part, ils permettent de calculer plus rigoureusement l'équivalent carbone déjà dépensé, d'autre part, il est plus difficile de séparer les finis des bâtiments religieux comme ils font partie intégrante du bâti. De plus, le mobilier, fixe et amovible, les équipements de transport vertical et les systèmes mécaniques et électriques ne sont pas inclus dans le calcul intrinsèque d'Athena Impact Estimator. Le logiciel permet malgré tout d'ajouter des matériaux sans catégorie constructive attirée, en poids ou volume de matériaux. Dans notre étude, les poutres secondaires et les escaliers des bâtiments sont comptabilisés grâce à cette fonction.

Quoique plusieurs composantes et paramètres peuvent être définis dans les assemblages, le logiciel comporte une limite au moment de comptabiliser les émissions GES intrinsèques d'une construction ancienne. Notamment, les murs massifs en pierre ou en briques ne peuvent pas être introduits dans le logiciel ; la pierre et la brique peuvent seulement être quantifiées comme parement, soit étant d'une plus petite épaisseur et construits à l'aide de systèmes d'accrochage d'acier. L'entrée de donnée se fait surtout par assemblage, mais il est possible d'y entrer des quantités de matériaux. Par ailleurs, les coefficients de carbone des matériaux anciens pourraient diverger de ceux d'aujourd'hui étant donné les processus de fabrication, de transport et de construction différents. Pour le calcul des émissions GES intrinsèques des bâtiments anciens, nous avons alors opté pour comptabiliser plus grossièrement leurs matériaux indépendamment d'un logiciel employant des coefficients plus près de la réalité antérieure et intégrant certaines considérations.

Athena IE4B n'est pas un simulateur de consommation énergétique, il permet cependant d'introduire des quantités énergétiques consommées par année, selon les différentes sources (électricité, gaz naturel, gaz de pétrole liquéfié, mazout lourd, diesel, essence). Le logiciel RetScreen est employé pour simuler les consommations énergétiques des bâtiments. (voir les sections sur l'énergie d'opération pour plus de détails).

## Simulation de consommation énergétique et GES d'opération

Le logiciel utilisé pour la modélisation est RETScreen Expert - Professionnel - version 9.0.1.94. Cet outil, créé par Ressources naturelles Canada, est reconnu internationalement. De nombreux paramètres détaillant un bâtiment peuvent être entrés dans le logiciel afin de simuler sa consommation énergétique selon des conditions d'opération déterminées. Les données climatiques utilisées sont celles contenues dans la base de données RETScreen. Elle cumule le résultat de plusieurs décennies de données relevées en de multiples endroits sur tout le territoire. Pour chaque bâtiment, la station météorologique la plus proche est indiquée dans le logiciel pour une plus grande justesse des données.

Lors de la réalisation des modélisations, de nombreuses hypothèses ont été prises, toujours de façon à être représentatif d'une réalité plausible. Le but n'était pas de modéliser avec précision les consommations des bâtiments, mais plutôt d'obtenir des ordres de grandeur basés sur des paramètres d'opération semblables entre les bâtiments afin d'effectuer des comparaisons de scénarios et de variantes associées. La disponibilité de relevés de consommation énergétique pour quelques bâtiments existants a permis de mieux calibrer certains paramètres des modélisations. La superficie nette occupable des bâtiments, utilisée pour certains calculs, est estimée en soustrayant 10% de la superficie brute qui a été calculée.

Le calcul de la consommation énergétique des bâtiments est fait avec l'outil RETScreen, mais le calcul des émissions GES est fait sur Excel. Les coefficients d'émissions de RETScreen comptabilisent seulement les émissions à l'utilisation, excluant alors les émissions d'extraction, de fabrication et de transport. Par souci de cohérence méthodologique avec les calculs d'énergie intrinsèque, lorsque possible, ce sont les coefficients d'Athena IE4B qui sont utilisés. Ces derniers considèrent tout le cycle de vie et tiennent compte des réalités régionales. Les coefficients carbone des sources d'énergie reflètent le cycle de vie contemporain de ces dernières. Nous avons choisi les mêmes coefficients pour l'existant, la transformation et le comparatif neuf (voir tableau en annexe).

## Phases de l'ACV selon Athena IE4B

Les phases dans les analyses de cycles de vie sont définies de façon universelle. Cependant, l'étendue peut changer d'une méthodologie à une autre, tel que du berceau à la porte (*cradle-to-gate*) ou du berceau à la tombe (*cradle-to-grave*). Par ailleurs, les nomenclatures et les regroupements des phases peuvent changer d'une source à l'autre. L'Institut Athena propose la catégorisation suivante pour les phases de l'ACV, en accord avec EN 15804 standard, où les phases A à C inclusivement correspondent à l'étendue berceau à la tombe (*cradle-to-grave*).

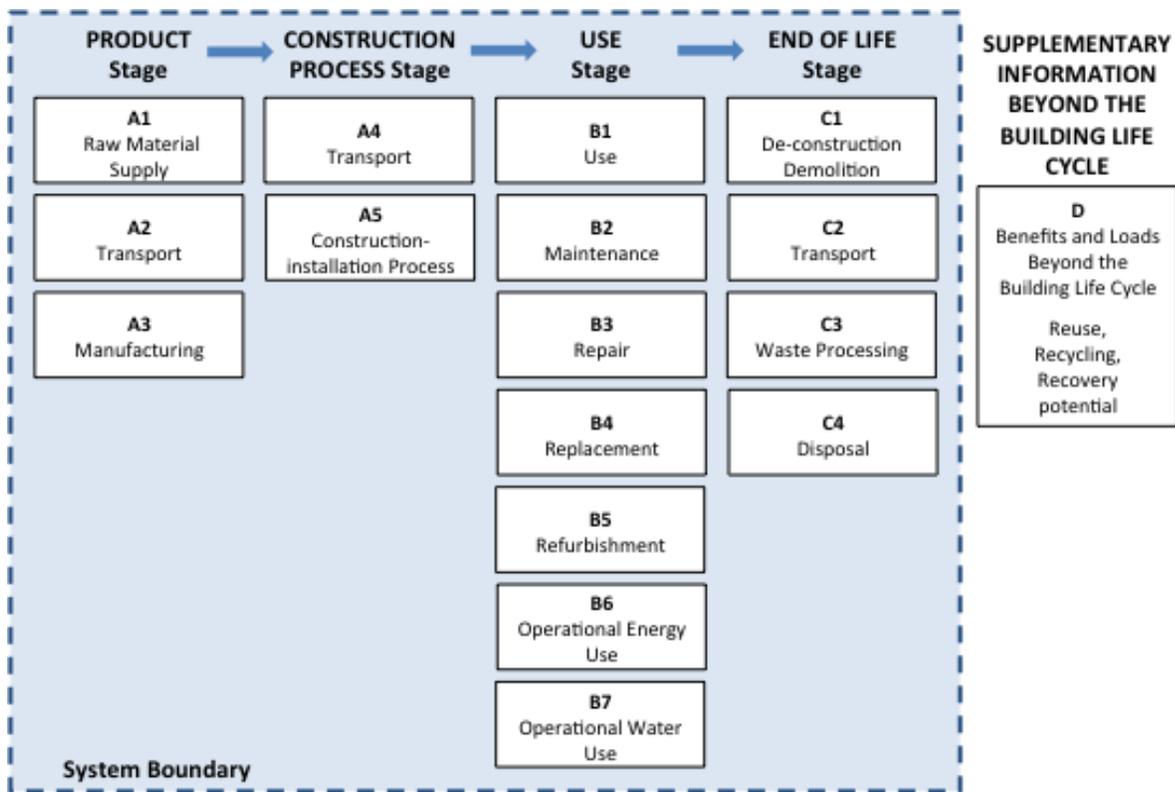


Figure : Cadre d'analyse de cycle de vie d'Athena IE4B. <http://www.athenasmi.org/resources/about-ica/technical-details/>

Quoique l'Institut Athena propose toutes ces étapes, elles ne sont pas toutes comptabilisées par le logiciel Impact Estimator, faute de données. Les étapes évaluées par le logiciel sont les suivantes :

Information Module	Supports?	Processes Included
A1 Raw material supply	Y	Primary resource harvesting and mining
A2 Transport	Y	Transportation of materials up to manufacturing plant gate
A3 Manufacturing	Y	Manufacture of raw materials into products
A4 Transport	Y	Transportation of materials from manufacturing plant to site
A5 Construction-installation process	Y	Construction equipment energy use, and life cycle effects of construction waste
B1 Installed product in use	N	Not currently well-supported with data
B2 Maintenance	Partial	Painted surfaces are maintained (i.e. repainted), but no annual maintenance aspects are included due to lack of data
B3 Repair	N	Not currently well-supported with data
B4 Replacement	Y	Life cycle effect of replacement materials
B5 Refurbishment	N	This module applies to known future refurbishment and needs to be addressed on a case-by-case basis if applicable
B6 Operational energy use	Y	Energy primary extraction, production, delivery, and use
B7 Operational water use	N	Not supported
C1 De-construction demolition	Y	Demolition equipment energy use
C2 Transport	Y	Transportation of materials from site to landfill
C3 Waste Processing	Y	Most material data does not include waste processing effects, except for metal scrap collection and pre-processing.
C4 Disposal	Y	Disposal facility equipment energy use and landfill site effects
D Benefits and loads beyond the system boundary	Partial	Metals recycling

Figure : Limites du logiciel Athena IE4B pour l'analyse de cycle de vie. [https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2023/12/IE4B\\_v5.5\\_User\\_Guide\\_Dec\\_2023.pdf](https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2023/12/IE4B_v5.5_User_Guide_Dec_2023.pdf)

### A1 à A3 : Production des matériaux

La phase de production des matériaux comprend l'énergie d'extraction des matières premières (A1), le transport à l'usine (A2) et la fabrication en matériaux de construction (A3), ce qui inclut aussi les déchets liés au façonnage. Le carbone biogénique est aussi considéré à ces phases : les crédits liés à la séquestration du carbone atmosphérique et de son stockage dans les matériaux de bois sont inclus (A1), ainsi que les émissions de combustion de biomasse, des emballages et des déchets durant la fabrication (A3).

### A4 et A5 : Construction du bâtiment

La phase de construction du bâtiment comptabilise le transport des matériaux de l'usine au site de construction (A4) ainsi que l'énergie déployée pour le processus de construction du bâtiment et d'installation des assemblages (A5). Ceci inclut l'utilisation de machineries sur le site et les déchets de chantier. Dans la plus

récente version d'Athena IE4B, le carbone biogénique est considéré à ces phases, incluant les crédits et émissions associées aux déchets de construction et les emballages biosourcés (A5).

### **B2, B4 et B6 Utilisation**

La phase d'utilisation mesure à la fois les émissions GES intrinsèques du bâtiment, soit la maintenance de l'immeuble (B2) et le remplacement périodique des composantes (B4), ainsi que les émissions GES d'opération de l'utilisation du bâtiment (B6). Il est à noter que la maintenance de l'immeuble ne comprend que la peinture. La fréquence de remplacement des composantes dépend de l'usage général du bâtiment, qu'il soit institutionnel ou commercial par exemple. Dans la plus récente version d'Athena, le carbone biogénique est considéré à ces phases, incluant les crédits et émissions associés aux remplacements des matériaux (B4). Comme mentionné plus haut, Athena Impact Estimator n'estime pas la consommation d'opération, mais permet simplement d'y introduire les données par année en kWh, MJ, m<sup>3</sup> ou L selon la source énergétique.

### **C1, C2 et C4 Fin de vie**

Dans l'étape de fin de vie, les émissions de démolition / déconstruction du bâtiment (C1) sont calculées, liées à l'énergie consommée par les équipements. Elle représente surtout les émissions nécessaires à la déconstruction / démolition de la structure, où la démolition de l'enveloppe est prise en compte, mais elle a très peu d'impact sur les émissions dépensées.

Par la suite, Athena Impact Estimator calcule les émissions liées au transport des matériaux (C2), pour les amener à être recyclés, réutilisés, ou incinérés.

La collecte et le triage des déchets allant à l'enfouissement (C3) sont comptabilisés dans la méthodologie d'Athena. Cependant, les émissions et les crédits des produits qui sont recyclés, réutilisés ou incinérés pour la valorisation, sauf pour les métaux, ne sont pas considérés dans l'étendue de l'ACV du bâtiment examiné. Ils sont considérés comme étant à l'extérieur du cadre et bénéficient le prochain utilisateur plutôt que le bâtiment d'origine.

Finalement, l'élimination des déchets est calculée (C4). Ceci inclut l'énergie consommée par la machinerie lourde des sites d'enfouissement ainsi que les émissions des déchets en décomposition, notamment celles du bois.

### **D Au-delà du cycle de vie**

Cette section calcule l'impact du recyclage d'aluminium et d'acier. Athena suppose un circuit fermé de recyclage des matériaux, permettant d'éviter le fardeau que représente une prochaine production. Un crédit carbone peut alors être assigné dans la fin de vie, dépendamment du calcul effectué par le logiciel. Il est considéré qu'il y a une perte lors du recyclage, en d'autres mots plus d'un kilogramme de métal récupéré est nécessaire pour produire un kilogramme de métal réutilisable. La méthodologie qu'emploie le logiciel est en accord avec les standards EN 15804 and EN 15978.

Par souci de cohérence, nous choisissons de ne pas inclure le recyclage de métaux dans notre analyse, comme les crédits dus au recyclage, à la réutilisation et à la valorisation des autres matériaux sont exclus. Par ailleurs, nous souhaitons viser la réduction des émissions d'aujourd'hui plutôt que de compter sur un crédit plus tard.

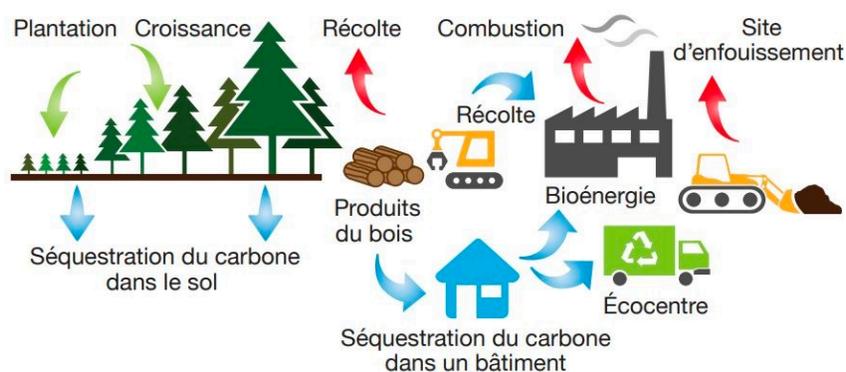
*“While operating energy use is critically important and generally outweighs embodied impacts in the long term, the short-term embodied impacts should not be ignored. The timeframe for mitigating climate change is the present, not 60 years down the road. Reducing the embodied impacts of the construction sector is an important tactic.” (Athena, 2023)*

## La séquestration et la libération du carbone des matériaux de bois

La question de la compensation et des émissions GES du bois est en constante évolution dans le domaine des ACV. La difficulté repose à déterminer ce qui peut être considéré comme un crédit, à quelle phase il peut être accordé et à quelle étendue est calculé son émanation. La méthodologie d'Athena concernant le carbone biogénique est basée sur le National Guidelines for Whole-Building LCA (NRC 2022), ISO 21930:2017, UL Evt PCR for building products et ACLCA guidance to 21930:2017 (Athena, 2023).

La notion globale repose sur le fait que la croissance forestière contribue à enlever des émissions atmosphériques de dioxyde de carbone, et pourrait alors être considérée comme un crédit carbone à l'échelle du bâtiment étudié puisque l'émanation du carbone stocké dans le bois est retardée. Lorsque les arbres croissent, ils emmagasinent le dioxyde de carbone dans l'atmosphère et le convertissent en carbone, ce qui compose environ la moitié de la masse du bois (Athena, 2024a). Selon Cecobois, un mètre cube de bois peut stocker une tonne de dioxyde de carbone (2024). À l'inverse, la fraction du bois qui se retrouve aux sites d'enfouissement se décompose et libère des GES dans l'atmosphère, s'ils ne sont pas captés pour la valorisation.

Dans la version la plus récente du logiciel, IE4B v5.5, le crédit et émission biogénique sont placés dans les phases où elles ont lieu, plutôt que d'être réunis dans le module D. Le logiciel permet aussi d'extraire les données biogéniques produites à chaque phase.



Le cycle du carbone dans la forêt aménagée et la transformation des produits du bois

Image de Cecobois : <https://cecobois.com/pourquoi-construire-en-bois/>

# SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

		EXISTANT				TRANSFORMATION								COMPARATIF NEUF													
		Date	Age	Intrinsèque	Opération jusqu'à 2023	Durée	Intrinsèque	Opération jusqu'à 2083								Durée	Intrinsèque					Opération jusqu'à 2083					
								a	b	c	d	e	f	g	h		1	2	3	4	5	A	B	C			
1	Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	1740	283	X	X	60	X						X			60	X										X
2	Église St-James Hatley	1828	195	X	X	60	X						X			60	X										X
3	Église Sainte-Christine-d'Auvergne	1894	129	X	X	60	X				X	X	X			60	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Église ND de Bonsecours de Montebello	1896	127	X	X	60	X						X	X		60	X	X	X	X	X						X
5	Église St-Michel de Percé	1903	120	X	X	60	X				X	X	X			60	X							X			X
6	Abbaye des Moniales Bénédictines, Joliette	1907	116	X	X	60	X				X	X	X			60	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Le Pratto, Percé	1912	111	X	X	60	X						X			60	X										X
8	Église St-Louis de Chambord	1929	94	X	X	60	X				X	X	X			60	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	1951	72	X	X	60	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60	X							X	X		X
10	Église St-Adalbert	1956	67	X	X	60	X						X			60	X										X
11	Eglise ND de l'Assomption de Victoriaville	1964	59	X	X	60	X				X	X	X			60	X							X	X		X

## Outils :

- Existant intrinsèque : modélisation Rhino pour quantification et calculs sur Excel
- Existant opération : modélisation sur RET Screen et Excel
- Transformation intrinsèque : modélisation 2D AutoCAD et calculs sur Athena
- Transformation opération : modélisation sur RET Screen et Excel
- Comparatif neuf intrinsèque : modélisation 2D AutoCAD et calculs sur Athena
- Comparatif neuf opération : modélisation sur RET Screen et Excel

- a. Mazout
- b. Gaz naturel
- c. Gaz naturel renouvelable
- d. Biénergie GN (propane pour église de Percé) - électricité
- e. Biénergie GNR - électricité
- f. Tout électrique
- g. Électricité et amélioration d'enveloppe
- h. Électricité, amélioration d'env. et géothermie

- 1. Standard
- 2. Hybride 1
- 3. Hybride 2
- 4. Bois
- 5. Design

- A. Biénergie GN (propane pour église de Percé) - électricité
- B. Biénergie GNR-électricité
- C. Tout électricité

# BÂTIMENT EXISTANT

## Émissions GES intrinsèques de l'existant

Les calculs des émissions intrinsèques des bâtiments existants ne sont pas effectués sur Athena IE4B puisque le logiciel ne supporte pas les assemblages anciens. La première étape consiste à quantifier les matériaux. Pour se faire, des modèles 3D de chacun des bâtiments anciens ont été créés grâce au logiciel Rhino. Les matériaux étant représentés sur différents calques, ce modèle permet d'obtenir le volume total de chacun des matériaux. Une liste des matériaux est ensuite saisie dans un fichier Excel et un coefficient carbone permet de pondérer les émissions de GES d'équivalent carbone.

Athena IE4B utilise des coefficients d'émissions GES basés sur les procédés d'aujourd'hui, comptabilisant les émissions liées aux équipements et aux méthodes d'extraction, à la fabrication industrielle, aux types de véhicules de transport, aux distances moyennes, aux équipements de construction, aux sources d'énergie disponibles pour toutes ces étapes, etc. Comme ces procédés ont changé dans plusieurs cas, les coefficients carbone d'Athena IE4B ne sont alors pas tous justes pour les matériaux anciens. Pour plusieurs d'entre eux, une recherche plus approfondie a été faite quant aux coefficients carbone employés et aux changements dans les procédés.

### Déterminer le coefficient d'émissions des matériaux anciens

Comme les coefficients d'émissions reflètent la production, le transport et les sources d'énergie d'extraction, on peut supposer une différence entre l'impact carbone des matériaux anciens et l'impact que ce même matériau représente aujourd'hui. En revanche, Bin et Parker (2012) démontrent qu'il ne serait pas toujours nécessaire d'ajuster les coefficients. Selon leur article portant sur l'étude de cas d'une maison en briques du 20<sup>e</sup> siècle, l'impact carbone des méthodes de fabrication est plus important que le carbone lié au transport et à l'extraction de la matière première, or, ces méthodes de fabrication n'auraient pas beaucoup changé lors des cent dernières années :

*« The energy and carbon coefficients need adjustment to account for the estimated difference in manufacturing, transportation and energy profile between the present and a century ago, and also between Ontario, Canada, and other countries. Given that low-grade energy such as human or other animal labour was still very common a century ago in Canada, the energy and carbon intensity in material extraction, manufacturing and transportation processes was considerably lower than today when machine work and high-grade energy (e.g., electricity) dominate. However, the difference does not affect the results very much. For example, in this case study, the most significant source of embodied energy and carbon comes from bricks, and the basic procedure of brick making has remained unchanged for centuries. Compared to manufacturing, the energy for clay extraction and transportation is minor (less than 1% of total) nowadays, which makes no noticeable difference when the coefficient is adjusted to suit 1910 patterns. »*

Cependant, il faut être prudent en affirmant que les méthodes de fabrication ne se sont pas améliorées. Toujours avec l'exemple de la brique, selon Wikipédia, « les chocs pétroliers à répétition, la prise de conscience écologique consécutive au dérèglement climatique conduisent l'industrie briquetière à des innovations majeures pour réduire la consommation énergétique et l'impact environnemental liés à la fabrication des produits. [...] Au niveau européen, l'énergie nécessaire à la fabrication des briques (1 m<sup>2</sup> de mur) a ainsi diminué de 39 % entre 1990 et 2007. » Des recherches plus approfondies seraient nécessaires afin de déterminer si cette réalité s'applique également au contexte nord-américain où l'énergie est plus abordable/abondante qu'en Europe.

Nos considérations sont parfois plus qualitatives que quantitatives. Par exemple, pour Saint-Michel de Percé, nous savions que la pierre provenait de tout près et que le transport s'était fait par chevaux. Considérant le peu de données régionales disponibles pour chacun des matériaux d'époque, une variété de sources ont été consultées. Autant que possible, les coefficients utilisés représentent le poids carbone du berceau à la tombe, quoique certains d'entre eux ne représentent que la phase A. Pour les matériaux qu'on considère que le coefficient est similaire entre le passé et aujourd'hui, nous employons les coefficients d'Athena IE4B, tandis que d'autres coefficients proviennent d'autres sources pour mieux refléter la réalité ancienne (voir tableau en annexe).

Pour le calcul de l'ACV de l'intrinsèque de l'existant, les coefficients pris d'Athena IE4B datent de l'ancienne version IE4B v.5.4, tandis que les ACV des transformations et des comparatifs neufs sont faites sur IE4B v.5.5. Les données ont été mises à jour et plusieurs ont donc changé. Comme notre exercice de comparaison ne se fait pas avec l'existant, mais plutôt entre la transformation et le comparatif neuf, nous considérons que cette incongruité est acceptable.

## Mortier

Selon la base de données ICE v3.0 (Hammond et Jones, 2019), les coefficients du mortier de ciment et du mortier de chaux et ciment sont respectivement de 0,208 kg éq. CO<sub>2</sub> / kg et 0,170 kg éq. CO<sub>2</sub> / kg. Cela est vrai en considérant des ratios ciment – chaux – sable de 1 :0 :3 pour le mortier de ciment et de 1 :0,5 :4,5 pour le mortier de chaux.

Toutefois, la Ville de Québec, pour les ouvrages de maçonnerie traditionnelle, recommande plutôt un mortier de chaux et ciment composé d'un mélange ciment – chaux – sable 1 :1,5 :4,5. Le coefficient carbone est alors de 0,181 kg éq. CO<sub>2</sub> / kg. Pour les fins de calculs, la masse volumique de ce mortier de chaux et ciment est de 1357 kg/m<sup>3</sup> et est calculée à partir des masses volumiques suivantes, ciment : 1100 kg/m<sup>3</sup>, chaux : 800 kg/m<sup>3</sup> et sable : 1600 kg/m<sup>3</sup>.

Or, il est également plausible que les mortiers datant d'avant 1930 ne contenaient pas du tout de ciment et se rapprochaient plutôt d'un ratio chaux – sable de 1 :3, qui est un ratio traditionnel (Perrault, 1852). À partir des coefficients du sable et de la chaux de la base de données ICE, de 0,0051 kg éq. CO<sub>2</sub> / kg et 0,78 kg éq. CO<sub>2</sub> / kg respectivement, on obtient un coefficient carbone de 0,201 kg éq. CO<sub>2</sub> / kg pour le mortier traditionnel de chaux. En suivant la même démarche que celle illustrée précédemment, la masse volumique du mortier de chaux est de 1400 kg/m<sup>3</sup>.

## Données liées aux composants du mortier

Composant	Détail	Carbone intrinsèque	Masse volumique
Ciment	Moyenne britannique	0,74 kg éq. CO <sub>2</sub> / kg	1100 kg/m <sup>3</sup>
Chaux	Général	0,78 kg éq. CO <sub>2</sub> / kg	800 kg/m <sup>3</sup>
Sable	Général	0,0051 kg éq. CO <sub>2</sub> / kg	1600 kg/m <sup>3</sup>

Source : Base de données ICE v3.0

## Différentes compositions de mortiers et leurs paramètres

Matériau	Ratio ciment :chaux :sable	Coefficient carbone	Masse volumique
Mortier de ciment	1 :0 :3	0,208 kg éq. CO <sub>2</sub> / kg	1475 kg/m <sup>3</sup>
Mortier de chaux et ciment	1 :0,5 :4,5	0,170 kg éq. CO <sub>2</sub> / kg	1450 kg/m <sup>3</sup>
Mortier (Ville de Québec)	1 :1,5 :4,5	0,181 kg éq. CO <sub>2</sub> / kg	1357 kg/m <sup>3</sup>
Mortier traditionnel	0 :1 :3	0,201 kg éq. CO <sub>2</sub> / kg	1400 kg/m <sup>3</sup>

Source : Base de données ICE v3.0

Hammond et Jones (2011) expliquent d'ailleurs pourquoi le poids carbone de la chaux est aussi élevé:

*« Lime is often chosen as an environmentally friendly material. It was therefore surprising to learn that the embodied energy of lime was slightly higher than for cement. This was observed from the respectable sample*

size of 39 data records. Lime is fired in the kiln to a lower temperature than cement, which is often misconceived as proof for a lower embodied energy. The present authors suggest that yield, density, and time in the kiln are all vital parameters to total energy consumption and that firing temperature may not be used as a proxy for embodied energy. This is presented as a possibility for its higher embodied energy. It should be noted that embodied energy is, in itself, not evidence to discredit limes environmental credentials. Due to a more favourable fuel mix and slightly lower process related carbon dioxide emissions lime has a lower embodied carbon than cement. An additional benefit of using lime based mortar includes the increased ability for deconstruction, rather than demolition. The re-carbonation that occurs over the lifetimes of both cement and lime based mortars (when exposed to air) will reduce the embodied carbon impact of the materials. Its understood that this process is not undesirable for lime (unlike cement). Examination of lime's full carbon cycle, cradle-to-grave, is therefore necessary. »

On peut conclure que le mortier de ciment et le mortier de chaux traditionnel ont des coefficients presque identiques et ainsi proposer un coefficient moyen pour tous les mortiers.

## Pierre de moellon

D'abord, il est pertinent de préciser que le rôle de la pierre a changé entre la période préindustrielle et aujourd'hui. Elle jouait auparavant le rôle de matériau de structure et était exploitée sous forme de moellon afin d'assembler des murs de maçonnerie massive, alors qu'aujourd'hui, son utilisation se limite habituellement à la mise en oeuvre sous forme de parement de pierre et selon un système d'accrochage.

La pierre de moellon est un matériau de construction dont les paramètres ne correspondent pas à la démonstration de Bin et Parker parce qu'il y avait traditionnellement peu d'émissions GES associées à la transformation de la matière et que ses méthodes d'extraction se sont mécanisées depuis la période préindustrielle. De plus, l'énergie requise pour l'extraction et le transport est significative et varie grandement selon le contexte. Pour toutes ces raisons, on peut difficilement appliquer le coefficient contemporain de la pierre pour l'analyse de cycle de vie d'un bâtiment ancien.

En revanche, on sait que la proximité de la matière première était un critère important dans la construction d'ouvrages en pierre, plus particulièrement en région éloignée. Dans ce cas, la pierre était souvent extraite d'une carrière locale puis transportée l'hiver par traction animale sur des traîneaux (Ledoux, 2016). Dans le cas d'édifices construits en milieu urbain, on pouvait avoir recours au transport ferroviaire (RPCQ, s.d.) ou maritime (Ledoux, 2016) pour s'approvisionner en pierre de meilleure qualité.

Pour ces raisons, le coefficient carbone de la pierre ancienne est probablement plus bas que celui de la pierre contemporaine. Or, faute d'autres sources de données, nous utiliserons les chiffres de la base de données ICE, soit un coefficient de 197,50 kg éq. CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>.

## Béton armé

Le béton de ciment est un matériau formé de granulats, de ciment, d'adjuvants et d'eau, et son poids carbone unité de volume. En contrepartie, il est plus complexe de calculer l'intensité carbone du béton lorsque celui-ci

est combiné à de l'armature d'acier pour former du béton armé. En effet, l'armature présente dans le béton n'est pas répartie uniformément, car elle est concentrée dans les éléments porteurs (poutres, colonnes, etc.) et varie également selon les types d'éléments mis en place : mur de fondation, dalle, voûte, etc. D'ailleurs, il est d'intérêt de définir précisément le taux d'armature présent dans le béton, car l'acier est un matériau lourd en poids carbone. L'objectif est donc de définir des ratios qui, de manière générale, reflètent la quantité d'acier présente dans le béton selon le type d'élément structural.

Nous soulignons que nous faisons ce calcul que pour les bâtiments existants, comme dans les scénarios de transformation et de comparatif neuf nous utilisons Athena IE4B, qui calcule ces proportions dans les assemblages. Cependant, comme nous ne pouvons pas utiliser Athena IE4B pour l'existant, un calcul approximant ce qui est caché dans le béton doit être fait. Le tableau ci-dessous présente les proportions moyennes d'acier dans le béton armé selon le type d'élément structural concerné. Étant donné le peu de détail disponible sur la quantité d'armatures utilisée, un taux moyen a été retenu pour les calculs d'analyse de cycle de vie.

### Quantité moyenne d'armatures par mètre cube de béton au Royaume-Uni

Élément structural	Proportion d'acier		
	Minimum	Maximum	Moyenne
Semelle de fondation	0,9%	4,2%	2,5%
Mur - général	0,9%	1,3%	1,1%
Mur - contreventement	1,1%	1,9%	1,5%
Dalle de plancher nervurée	1,5%	1,5%	1,5%
Dalle - à sens unique	1,0%	1,6%	1,3%
Dalle - double sens	0,9%	1,7%	1,3%
Poutre	3,2%	4,5%	3,9%
Colonne	2,5%	5,7%	4,1%
Escalier	1,7%	2,2%	2,0%

Source : One Click LCA, 2022.

# Émissions GES d'opération de l'existant

## Mode d'opération et habitudes d'occupation

L'occupation et l'opération des bâtiments dans le passé pouvaient être très variables selon le bâtiment et selon le moment de leur histoire, faisant ainsi varier grandement leur consommation énergétique. Comme les informations à cet effet sont rares ou inexistantes, des hypothèses standardisées ont été prises pour l'ensemble des bâtiments, suivant certaines époques.

Dans les temps plus anciens, alors que le bois ou le charbon étaient utilisés comme source d'énergie, un point de consigne de 17°C a été considéré. Cette température est une moyenne dans le temps et spatialement dans le bâtiment. La température extérieure de référence pour établir la durée de la saison de chauffage est également de 17°C.

À l'époque "moderne", qui a été considérée comme concordant avec l'arrivée du chauffage au mazout, un point de consigne de 18°C a été établi. Encore une fois, cette température est une moyenne dans le temps et spatialement dans le bâtiment. La température extérieure de référence pour établir la durée de la saison de chauffage est, elle aussi, de 18°C.

L'éclairage n'a été considéré que pour l'époque moderne. Une moyenne temporelle et spatiale de 1 heure par jour a été jugée comme étant raisonnablement représentative pour les lieux de culte ou d'habitation, qui présentent une faible intensité d'occupation (heures-occupants / m<sup>2</sup>).

Les gains thermiques associés à la présence d'occupant ont été négligés, notamment en raison de la faible intensité d'occupation pendant l'histoire passée des bâtiments.

À des fins de simplification, mais également en raison d'une très forte dépendance aux habitudes de vie et d'opération, certains paramètres n'ont pas été pris en compte. C'est le cas notamment des systèmes de ventilation qui pouvaient se trouver dans certains édifices, tels que les hottes d'évacuation des cuisines ou évacuateurs de salle de toilette. De tels systèmes concernent principalement le monastère de Joliette ou le presbytère de Saint-Michel pour lesquels ces dépenses énergétiques ne sont apparues que dans leur histoire relativement récente.

La consommation d'eau chaude sanitaire n'a également pas été prise en compte pour les modélisations des bâtiments passés. La majorité des bâtiments étant des lieux de culte, la consommation d'eau chaude s'en trouvait réduite, voire inexistante dans les temps plus anciens. Le même raisonnement s'applique également pour les charges électriques diverses.

## Enveloppe

Les recherches et travaux effectués pour le calcul des émissions GES intrinsèques des bâtiments ont également permis de déterminer les caractéristiques de l'enveloppe qui sont utiles à la modélisation énergétique. Des recherches ont été faites afin de trouver la capacité isolante approximative de certains matériaux et assemblages

anciens. Différentes variantes des bâtiments ont été modélisées, suivant les modifications de volumétrie et de facteur isolant de l'enveloppe pendant l'histoire du bâtiment.

Des recherches ont été faites pour tenter d'estimer l'influence possible d'arbres sur les gains solaires des bâtiments en saison de chauffage. Les informations disponibles, telles que des photographies d'époque, ont confirmé des occultations négligeables en hiver, notamment parce que les arbres présents étaient des feuillus. Les bâtiments étudiés, se trouvant pour la plupart sur de vastes terrains, aucune occultation solaire autre n'a été prise en considération.

## Énergie et système de chauffage

Les visites et relevés faits dans les bâtiments existants ont permis de déterminer l'énergie utilisée pour le chauffage et les types de systèmes en place. Dans certains cas, des archives documentaires (plans, soumissions, carnets de santé) et des indices, d'anciens systèmes ont permis de déterminer ou estimer des périodes énergétiques, soit le type de système de chauffage en place et sa source d'énergie utilisée pendant une période historique.

Lorsqu'aucun indice suffisant ne permet de déterminer ou estimer la période énergétique, ces dernières sont déterminées par les tendances historiques. Entre autres, une revue historique mentionne l'arrivée du chauffage à l'huile dans les années 50 et parle d'une publicité d'église chauffant au mazout en 1951 et en 1953. Le mazout est donc considéré par défaut comme source d'énergie pour les bâtiments construits aux alentours des années '50. Pour les bâtiments déjà existants, la conversion vers le mazout est considérée en 1955 ou aux alentours de cette date s'il y a connaissance de travaux majeurs effectués vers les années '50. L'électrification des bâtiments est considérée comme étant faite au même moment que le passage au mazout pour le système de chauffage.

Avant le mazout, le bois ou le charbon étaient utilisés comme combustible pour le chauffage. Pour les bâtiments en milieu urbain, c'est le charbon qui est considéré. Pour les bâtiments en milieu rural, le charbon est considéré lorsqu'une voie ferrée traverse la communauté où se trouve le bâtiment. Autrement, c'est le bois qui est la source d'énergie pour le chauffage.

Lorsque des indices laissent le présager, il est supposé que l'électricité a été utilisée en complémentarité avec le mazout dans le cadre de l'option biénergie offerte par Hydro-Québec. Cette option a été en vigueur du début des années '80 jusqu'au 1er avril 2006. Considérant un temps nécessaire pour modifier les chaufferies, ce type de système de chauffage a été considéré à partir de 1985 dans les cas applicables. L'utilisation a été supposée au-delà de la fin de la tarification spéciale à cet effet de la part d'Hydro-Québec. Dans les cas biénergie, il est statué que 70% de la chaleur requise pour le chauffage est fournie par l'électricité et les 30% restants sont fournis par un système à énergie fossile.

La plus récente période énergétique de certains bâtiments est caractérisée par le chauffage au gaz naturel. En l'absence d'indice sur le début de cette période, il est supposé que le gaz pourrait remplacer un système au mazout après 25 ans de service de ce dernier, correspondant à une durée de vie plausible d'un tel système. Le réseau gazier, ayant connu une expansion importante en 1995, il est considéré que cette possibilité est effective qu'à partir de 1995 en région.

L'efficacité des systèmes de chauffage a un impact majeur sur la consommation d'énergie des bâtiments. Elle varie en fonction du type d'appareil en place et en fonction des conditions d'opération de ce dernier. Une efficacité moyenne saisonnière typique a été déterminée pour les principaux types de systèmes de chauffage. Les systèmes utilisant le bois ou le charbon ont une efficacité considérée de 65%. Elle est de 70% pour les systèmes au mazout. Quant aux systèmes au gaz, leur efficacité a été déterminée comme étant de 75% pour les chaudières qui ne sont pas à condensation. Pour les chaudières dites à condensation, un taux d'efficacité saisonnière conservateur de 85% a été estimé. Les systèmes de chauffage en place dans les bâtiments existants, nécessitant parfois des températures d'opérations plus élevées, ne permettent pas une opération optimale en tout temps des chaudières à condensation. Finalement, les systèmes électriques ont une efficacité de 100%.

## Ventilation

Tel que déjà mentionné, aucun système de ventilation n'a été considéré pour les modélisations des bâtiments passés. Entre autres, la majorité des cas étudiés n'en étaient pas équipés pour une importante partie, voire la totalité, de leur histoire.

## Éclairage

Une consommation d'électricité a été considérée pour l'éclairage à partir d'une époque moderne qui est établie à partir de l'arrivée du mazout comme source d'énergie pour le chauffage. Une puissance moyenne consommée de 13 W/m<sup>2</sup> de surface occupable a été estimée, en prenant comme référence des relevés précis effectués pour l'église de Chambord. L'impact thermique de l'éclairage sur le chauffage est considéré à 100%.

## Autres charges

Lorsque le mazout fait son arrivée comme source d'énergie pour le chauffage, une charge électrique moyenne de 200 W est calculée pour le circulateur des chaudières pendant toute la durée de la saison de chauffage. Son impact thermique sur le chauffage est considéré à 100%.

Comme déjà mentionné, aucune autre charge n'a été considérée.

## Eau chaude sanitaire

Aucune production et consommation d'eau chaude sanitaire n'a été considérée.

## Climatisation

Aucune climatisation n'a été considérée.

## Modélisation des variantes des bâtiments

Une modélisation énergétique des bâtiments a été faite pour chaque variante historique de ceux-ci, en tenant compte des variations au niveau de l'enveloppe, du système de chauffage et de la source d'énergie au fil de leur histoire (voir tableau en annexe).

# SCÉNARIO I : LE BÂTIMENT TRANSFORMÉ

Dans ce scénario, on prolonge la durée de vie de l'immeuble existant en y donnant un nouvel usage. Ces nouveaux programmes demandent des interventions architecturales, incluant de nouvelles cloisons et parfois des agrandissements. Dans certains cas, la démolition de quelques éléments est nécessaire ; les impacts d'émissions GES de ces dernières sont déjà compris dans l'ACV du bâtiment existant, puisque l'analyse couvre jusqu'à la démolition du bâtiment. Il n'est donc pas nécessaire de comptabiliser le poids carbone des démolitions partielles de l'existant effectuées lors de la transformation.

Les bâtiments à l'étude ont fait l'objet d'accompagnements dans le projet Valoriser II. Les nouvelles vocations et les aménagements utilisés pour l'exercice proviennent alors d'un cheminement entamé avec les clients.

## Émissions GES intrinsèques des transformations

*Cette méthodologie s'applique à la fois pour les scénarios de transformations et de comparatifs neufs*

Pour faciliter le choix de matériaux employés dans les transformations et dans les comparatifs neufs, nous avons créé des typologies de conceptions prédéfinies. Elles viennent d'une part rationaliser et uniformiser les choix d'assemblages et composer des alternatives pour faire des comparaisons. D'autre part, des assemblages types ont été créés à l'aide d'un ingénieur et d'une architecte pour standardiser les choix de matériaux pour les cloisons intérieures, les murs extérieurs, les planchers et les toits.

Les typologies et les assemblages reprennent des méthodes de constructions communes d'aujourd'hui. Les choix de matérialités sont inspirés d'une analyse sommaire de précédents québécois qui inclut des centres communautaires, des gymnases, des bibliothèques et des espaces multifonctionnels des dix dernières années surtout dans des contextes ruraux. Cette analyse de précédents a aussi inspiré la conception des bâtiments comparatifs neufs.

### **Conclusions et observations de l'analyse de précédents :**

Les centres communautaires / bibliothèques / salles multifonctionnelles / spectacles :

- Généralement ce sont des édifices de deux étages sans sous-sol.
- Les structures sont d'acier, colonnes et poutres en profilé I avec des poutrelles d'acier ajourées.
- Exceptionnellement, certaines municipalités choisissent des structures en bois par souci environnemental et/ ou esthétique.
- On retrouve souvent un mélange de revêtements extérieurs sur un même bâtiment : métallique, maçonnerie, bois.
- Il y a presque toujours quelques murs rideaux vitrés, notamment signalant l'entrée principale ou pour bonifier un espace intérieur (comme un hall, des places assises, etc.).
- Les projets avec un plus grand budget vont souvent être majoritairement vitrés, par exemple dans des municipalités plus urbaines.
- Lorsque ce n'est pas entièrement vitré, la fenestration tourne autour de 40% à 60%.

## Gymnase :

- Les structures des gymnases ont plusieurs des mêmes choix de matérialités que les centres communautaires.
- Ces bâtiments sont moins vitrés et les fenêtres sont plus souvent en hauteur.
- La matérialité des cloisons intérieures est souvent en bloc de béton pour avoir des surfaces qui résistent mieux aux impacts fréquents des activités.

## Typologies de conceptions

### 1. LE STANDARD :

*Tout en acier avec un revêtement métallique et en maçonnerie*

- Semelles (S1) et dalles de béton (P1 et P2)
- Structure de colonnes et de poutres d'acier, en profilé I
- Murs extérieurs en colombages d'acier avec 80% du parement en métal (M1) et 20% en maçonnerie (M2), avec portes extérieures en acier ou vitrées en cadre d'aluminium
- Vitrage autour de 40%, cadrage en aluminium, double vitrage "*glazed soft coated argon*", et une partie en mur rideau (selon la conception) (MR)
- Cloisons intérieures en colombages d'acier, avec portes intérieures à âme creuse en bois (C1)
- Cloisons des issues en colombages d'acier, avec portes intérieures en acier (Cx1)
- Planchers en poutrelles ajourées en acier (P3)
- Toit en poutrelles ajourées en acier (T1)

### 2. L'HYBRIDE A

*Toit en bois*

(les éléments en gris sont identiques au 1. *Standard*, les éléments soulignés sont différents)

- Semelles (S1) et dalles de béton (P1 et P2)
- Structure de colonnes et de poutres d'acier, en profilé I, sauf pour les poutres du toit qui sont en bois lamellé collé
- Murs extérieurs en colombages d'acier avec 80% du parement en métal (M1) et 20% en maçonnerie (M2), avec portes extérieures en acier ou vitrées en cadre d'aluminium.
- Vitrage autour de 40%, cadrage en aluminium, double vitrage "*glazed soft coated air*", et une partie en mur rideau (selon la conception) (MR)
- Cloisons intérieures en colombages d'acier, avec portes intérieures à âme creuse en bois (C1)

- Cloisons des issues en colombages d'acier, avec portes intérieures en acier (Cx1)
- Planchers en poutrelles ajourées en acier (P3)
- Toit en poutrelles lamellées-collées (T3)

### 3. L'HYBRIDE B

*Structure, planchers et toit en bois*

(les éléments en gris sont identiques au 1. *Standard*, les éléments soulignés sont différents)

- Semelles (S1) et dalles de béton (P1 et P2)
- Structure de colonnes et poutres lamellées-collées
- Murs extérieurs en colombages d'acier avec 80% du parement en métal (M1) et 20% en maçonnerie (m2), avec portes extérieures en acier ou vitrées en cadre d'aluminium.
- Vitrage autour de 40%, cadrage en aluminium, double vitrage "*glazed soft coated air*", et une partie en mur rideau (selon la conception) (MR)
- Cloisons intérieures en colombages d'acier avec portes intérieures à âme creuse en bois (C1)
- Cloisons des issues en colombages d'acier avec portes intérieures en acier (Cx1)
- Planchers en poutrelles lamellées-collées (P5)
- Toit en poutrelles lamellées-collées (T3)

### 4. BOIS

*Structure, planchers, toit, colombages et parements en bois*

(les éléments en gris sont identiques au 1. *Standard*, les éléments soulignés sont différents)

- Semelles (S1) et dalles de béton (P1 et P2)
- Structure de colonnes et poutres lamellées-collées
- Murs extérieurs en colombages de bois avec 80% du parement en bois (M6) et 20% en maçonnerie (M5), avec portes extérieures en acier ou vitrées en cadre d'aluminium.
- Vitrage autour de 40%, cadrage en aluminium, double vitrage "*glazed soft coated air*", et une partie en mur rideau (selon la conception) (MR)
- Cloisons intérieures en colombages de bois, avec portes intérieures à âme creuse en bois (C2)
- Cloisons des issues en colombages de bois avec du gypse doublé, avec portes intérieures en acier (Cx2)

- Mur de béton pour l'ascenseur
- Planchers en poutrelles lamellées-collées (P5)
- Toit en poutrelles lamellées-collées (T3)

## 5. DESIGN

*Murs extérieurs entièrement vitrés.*

(les éléments en gris sont identiques au 1. *Standard*, les éléments soulignés sont différents)

- Semelles (S1) et dalles de béton (P1 et P2)
- Structure de colonnes et de poutres d'acier, en profilé I
- Murs extérieurs en murs rideaux vitrés, avec portes extérieures vitrées en cadre d'aluminium (MR)
- Cloisons intérieures en colombages d'acier, avec portes intérieures à âme creuse en bois (C1)
- Cloisons des issues en colombages d'acier, avec portes intérieures en acier (Cx1)
- Planchers en poutrelles ajourées en acier (P3)
- Toit en poutrelles ajourées en acier (T1)

### Liste des assemblages

Ce qui suit est une liste des assemblages types utilisés dans les ACV des transformations et des comparatifs neufs. Les détails indiqués pour chaque assemblage sont les caractéristiques nécessaires à remplir dans Athena IE4B. Les assemblages respectent les valeurs R requises par le Code de construction du Québec, Chapitre I.1 – Efficacité énergétique du bâtiment, et Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2015 (modifié) (CNRC, 2020). Toutes les valeurs R / RSI indiquées sont effectives, et elles ont été calculées grâce à l'outil Novoclimat (TEQ, 2022).

**S1** : Semelles de béton

- Largeur de 0,4 m, épaisseur de 200mm, armature de 85 kg/m<sup>3</sup>, 30 MPa.

**P1** : Dalle de béton sur sol R-10 (RSI 1,76), isolée sur 4' (1,2 m) du pourtour.

- Béton de 100 mm, 30 MPa
- Polystyrène extrudé de 2" (50.762mm)
- Membrane polyéthylène 6 mil

**P2** : Dalle de béton non isolée

- Béton de 100 mm, 30 MPa

**P3** : Plancher de poutrelles **ajourées en acier** avec platelage métallique

- **Avec chape de béton**
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**P3.2** : Plancher de poutrelles **ajourées en acier** avec platelage métallique

- **Sans chape de béton**
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**P4** : Plancher de poutrelles **ajourées en bois**

- Platelage en contre-plaqué, 15mm
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**P5** : Plancher en poutrelles **lamellées-collées**

- Platelage en planches de bois
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**Ppl** : Plancher des paliers d'escalier : poutrelles d'acier

- Sans platelage
- Poutrelles : 39 x 203mm, jauge 16, espacées c/c de 400mm

**Pcb** : Chape de béton pour plancher

- 30 MPa

**MF 1** : Mur de fondation en béton **sans sous-sol** R-15 (RSI 2,64)

- Béton de 200 mm, armature #15 M (SI), 30 MPa
- Polystyrène extrudé de 4" (101,524 mm)

**MF 2** : Mur de fondation en béton **avec sous-sol** R-15 (RSI 2,64)

- Béton de 200 mm, armature #15 M (SI), 30 MPa
- Polystyrène extrudé de 1.5" (38,0715 mm)
- Colombages d'acier : non porteur, espacés c/c aux 600 mm (24"), léger (25Ga), de 39 x 92 mm (1 5/8" x 3 5/8")
- Isolant de cavité, en laine minérale de 3,5" (88,8335 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil

- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**MB 1** : Mur de béton pour les ascenseurs

- Béton de 200 mm, armature #15 M (SI), 30 MPa
- Peinture en latex

**M1** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6) **colombages d'acier et revêtement métallique**

- Système de revêtement métallique extérieur (commercial 26 Ga)
- Pare-air
- Isolant extérieur en laine de roche R11-15 3.5" (88,8335 mm)
- Colombages d'acier : porteur, avec contre-plaqué, espacés c/c aux 400 mm (16"), léger (25Ga), de 39 x 92 mm (1 5/8" x 3 5/8")
- Isolant de cavité en fibre de verre R11-15 3.5" (88,8335 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**M2** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6) **colombages d'acier et revêtement maçonnerie**

- Système de revêtement en pierre naturelle extérieur
- Pare-air
- Isolant extérieur en laine de roche R11-15 3.5" (88,8335 mm)
- Colombages d'acier : porteur, avec contre-plaqué, espacés c/c aux 400 mm (16"), léger (25Ga), de 39 x 92 mm (1 5/8" x 3 5/8")
- Isolant de cavité en fibre de verre R11-15 3.5" (88,8335 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**M3** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6), colombages d'acier et revêtement de bois.

(non utilisé)

**M4** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6), colombages de bois et revêtement métallique.

(non utilisé)

**M5** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6), **colombages de bois et revêtement maçonnerie**

- Système de revêtement en pierre naturelle extérieur
- Pare-air
- Isolant extérieur en laine de roche R11-15 3.5" (88,8335 mm)

- Colombages en bois : porteur, avec contre-plaqué, espacés c/c aux 400 mm (16"), léger (25Ga) de 38 x 89 mm (2 x 4")
- Isolant de cavité en fibre de verre R11-15 3.5" (88,8335 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**M6** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6) **colombages de bois et revêtement bois**

- Système de planches en bois de cèdre à rainure et languette
- Pare-air
- Isolant extérieur en laine de roche R11-15 3.5" (88,8335 mm)
- Colombages en bois : porteur, avec contre-plaqué, espacés c/c aux 400 mm (16"), léger (25Ga) de 38 x 89 mm (2 x 4")
- Isolant de cavité en fibre de verre R11-15 3.5" (88,8335 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**MBB1** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6) **blocs de béton et revêtement métallique**

- Système de revêtement métallique extérieur (commercial 26 Ga)
- Pare-air
- Isolant extérieur en laine de roche R-20 4.5" (114,2145 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Blocs de béton de 200 mm d'épais
- Peinture en latex

**MBB2** : Mur extérieur R-20.5 (RSI 3,6) **blocs de béton et revêtement maçonnerie**

- Système de revêtement en pierre naturelle extérieur
- Pare-air
- Isolant extérieur en laine de roche R-20 4.5" (114.2145mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Blocs de béton de 200 mm d'épais
- Peinture en latex

**MR** : Murs rideaux extérieurs R-20.5 (RSI 3,6)

- Vitré à environ 90%
- Tympan métallique
- Isolant : Athena met automatiquement de la fibre de verre, définir l'épaisseur : 5,5"

**C1** : Cloisons intérieures en **colombages d'acier**

- Peinture en latex
- Gypse régulier de 5/8"
- Colombages d'acier : non porteur, espacés c/c aux 400 mm (16"), léger (25Ga), 39 x 92 mm (1 5/8 x 3 5/8")
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**C1\*** : Cloisons intérieures en **colombages d'acier** (cloisons plus hautes nécessitant colombages plus robustes)

- Peinture en latex
- Gypse régulier de 5/8"
- Colombages d'acier : non porteur, espacés c/c aux 400 mm (16"), **lourd (20Ga), 39 x 152 mm**
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**C2** : Cloisons intérieures en **colombages de bois**

- Peinture en latex
- Gypse régulier de 5/8"
- Colombages de bois : non porteur, espacés c/c aux 400 oc mm (16" oc), 38 x 89 mm (2 x 4")
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**C2\*** : Cloisons intérieures en **colombages de bois** (cloisons plus hautes nécessitant colombages plus robustes)

- Peinture en latex
- Gypse régulier de 5/8"
- Colombages de bois : non porteur, espacés c/c aux 400 mm (16"), **38 x 140 mm (2 x 6")**
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**C3** : Cloisons intérieures en **colombages de bois** ITS 50

(basée sur type de mur W9c du CCQ, page 9-375)

- Peinture en latex
- 2 Gypses réguliers 1/2" (12,7 mm)
- **2 rangées décalées** de colombages de bois : non porteur, espacées c/c aux 400 mm (16"), 38 x 89 mm (2 x 4")
- Isolant en laine de roche 89 mm
- 2 Gypses réguliers 1/2" (12,7 mm)
- Peinture en latex

**Ca** : Cloisons intérieures amovibles

- Gypse régulier de 5/8"

- Colombages d'acier : non porteur, espacées c/c 600 mm (16"), léger (25Ga), 39 x 92 mm (1 5/8 x 3 5/8")
- Gypse régulier de 5/8"

**Cbb1** : Cloisons intérieures en bloc de béton

- Peinture en latex
- Blocs de béton de 200 mm d'épais
- Peinture en latex

**Cv 1** : Cloisons intérieures vitrées

**Cx 1** : Cloisons intérieures des issues

- Peinture en latex
- 2 Gypses réguliers de 5/8"
- Colombages **d'acier** : non porteur, espacées c/c 400 mm (16"), léger (25Ga), 39 x 92 mm (1 5/8 x 3 5/8")
- 2 Gypses réguliers de 5/8"
- Peinture en latex

**Cx 2** : Cloisons intérieures des issues

- Peinture en latex
- 2 Gypses réguliers de 5/8"
- Colombages de **bois** : non porteur, espacées c/c 400 mm (16"), 38 x 89 mm (2x4")
- 2 Gypses réguliers de 5/8"
- Peinture en latex

**T1** : Toit en poutrelles ajourées en acier avec platelage métallique R-31 (RSI 5,46)

- Membrane bitumineuse standard à double épaisseur
- Pour pente : Panneau polyiso avec revêtement de fibre de verre 3" (76,143mm) (0 à 6" pour créer la pente donc en moyenne 3")
- Pour isolation : Panneau polyiso avec revêtement de fibre de verre 6" (152,286 mm)
- Sans chape de béton
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**T2** : Toit en poutrelles ajourées **en bois** R-31 (RSI 5,46)

- Membrane bitumineuse standard à double épaisseur
- Pour pente : Panneau polyiso avec revêtement de fibre de verre 3" (76,143mm) (0 à 6" pour créer la pente donc en moyenne 3")
- Pour isolation : Panneau polyiso avec revêtement de fibre de verre 6" (152,286 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil

- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

**T3** : Toit en poutrelles **lamellées-collées** R-31 (RSI 5,46)

- Membrane bitumineuse standard à double épaisseur
- Pour pente : Panneau polyiso avec revêtement de fibre de verre 3" (76,143mm) (0 à 6" pour créer la pente donc en moyenne 3")
- Pour isolation : Panneau polyiso avec revêtement de fibre de verre 6" (152,286 mm)
- Pare-vapeur polyéthylène 6 mil
- Gypse régulier de 5/8"
- Peinture en latex

## Calculs des escaliers, rampes et garde-corps

Les escaliers, les rampes et les garde-corps n'ont pas d'assemblages prédéfinis dans le logiciel Athena IE4B. Ces éléments ont alors été ajoutés comme "Extra Materials". À partir de modèles 3D conçus sur le logiciel Rhino, le volume en m<sup>3</sup> de chaque matériau est extrait. Grâce à un produit-croisé, le volume des matériaux peut être calculé pour les divers projets. Pour saisir les données comme "Extra materials", le béton est compté en m<sup>3</sup>, tandis que les matériaux d'acier doivent être convertis en kg (7,851 kg/m<sup>3</sup> donnée d'Athena IE4B). Tant pour les transformations que pour les comparatifs neufs, les matérialités employées et la méthode de calcul suivent les logiques suivantes:

- Escaliers intérieurs :
  - Modèle type : Une volée de 7 marches de 1100 mm de large, les marches de 280mm de haut avec un nez de 22mm et d'une contremarche de 180 mm
  - Marches : acier et béton armé
  - Garde-corps : acier
- Palier d'escalier intérieur :
  - Modèle type de 1100 mm par 1100 mm
  - Acier et béton armé
- Escaliers extérieurs hors-sol :
  - Modèle type : Une volée de 7 marches de 1100 mm de large, les marches de 280mm de haut avec un nez de 22mm et d'une contremarche de 180 mm
  - Marches : structure d'acier, recouvert d'un panneau d'acier en grillage 50% troué
  - Garde-corps : acier
- Paliers des escaliers extérieurs hors-sol :
  - Structure en acier avec panneau d'acier en grillage 50% troué

- Pour ce cas, la structure n'est pas modélisée, l'assemblage est plutôt comptabilisé comme un plancher prédéfini dans Athena IE4B, soit un plancher de poutrelles d'acier (Ppl). La couverture en panneau d'acier est comptabilisée dans "Extra materials".
- Escaliers au sol :
  - Béton armé
  - Chacun des différents cas est individuellement modélisé pour avoir le volume de béton et d'armature d'acier.
- Rampes et leurs paliers :
  - Structure en acier avec panneau d'acier en grillage 50% troué
  - Similairement aux paliers des escaliers extérieurs hors-sol, les matériaux de ces structures sont estimés comme un assemblage prédéfini d'Athena IE4B, soit un plancher de poutrelles d'acier (Ppl). La couverture en panneau d'acier est comptabilisée dans "Extra materials".
- Garde-corps :
  - Acier
  - Tous autres garde-corps qui ne sont pas comptés dans les modèles ci-haut sont calculés à part.

## Usages et matérialités des transformations

Ces choix des systèmes constructifs et des matérialités sont fondés sur les spécifications faites lors des propositions et sur les particularités du contexte. Les éléments de projet qui n'ont pas d'orientations indiquées dans l'étude de potentiel suivent les paramètres établis pour la typologie de conception "1. Standard".

### 1. Presbytère St-Michel de Bellechasse

Nouvelle vocation proposée : activités culturelles et touristiques, hall multifonctionnel, résidences pour artistes, ateliers, espace d'exposition, café et boutique.

Modifications envisagées : Proposition d'un agrandissement qui vient unir le presbytère et la grange à dîme. La conception de l'agrandissement dans l'étude de potentiel s'enligne avec les assemblages de la typologie "5.Design", c'est-à-dire une structure d'acier avec des murs extérieurs entièrement vitrés.

### 2. Église St-James de Hatley

Nouvelle vocation proposée : Salle multifonctionnelle, pour rassemblements et spectacles, et continuation des activités religieuses

Modifications envisagées : Changement d'usage sans travaux.

### 3. Église de Sainte-Christine-d'Auvergne

Nouvelle vocation proposée : activités communautaires, culturelles, loisirs et commerciales, espace flexible et adaptable pour une bibliothèque, des réceptions et rassemblements, petit espace de commerce, et mur d'escalade.

Modifications envisagées : Proposition d'un agrandissement et de l'ajout d'un plancher en mezzanine dans les bas-côtés. Pour ce cas, la culture forestière du lieu et la structure en bois de l'église existante portent à proposer des constructions en bois. Les interventions se conforment aux assemblages et aux matériaux établis dans la typologie "4.Bois", avec la seule différence d'avoir uniquement du bois en parement extérieur.

### 4. Église Notre-Dame de Bonsecours de Montebello

Nouvelle vocation proposée : salle multifonctionnelle, spectacles, réceptions et diffusion, et espace de rencontres

Modifications envisagées : Proposition d'un agrandissement et construction de gradins dans les jubés. La conception proposée dans l'étude de potentiel s'enligne avec les assemblages décrits dans la typologie "5.Design", c'est-à-dire une structure d'acier avec des murs extérieurs entièrement vitrés.

### 5. Église Saint-Michel-de-Percé

Nouvelle vocation proposée : salle multifonctionnelle, spectacles, réceptions et diffusion, et espaces de rencontres

Modifications envisagées : Proposition d'un agrandissement et de rénovations majeures dans l'existant. Ce projet s'est rendu jusqu'à l'étape du PFT, en collaboration avec des ingénieurs et divers spécialistes. Cette proposition a donc plusieurs orientations quant aux assemblages et aux matérialités, découlant des intentions architecturales ainsi que des prescriptions des ingénieurs.

- Excavation à l'avant pour sous-sol de l'agrandissement : nouvelles fondations avec dégagement par rapport aux fondations de l'existant pour conserver l'intégrité structurale de l'existant. Fondations MF2 avec demi-mur exposant les fondations existantes de pierre. Agrandissement latéral (monte-charge / dépôt) fondations MF2. Toute dalle de béton est d'une épaisseur de 100 mm (P1 et P2).
- Structure des agrandissements : il n'y a pas de précisions pour la structure dans le PFT, on applique alors les caractéristiques de la typologie "1.Standard", soit une structure en acier profilé en I
- Murs extérieurs de l'agrandissement avant : murs rideaux (MR), portes extérieures vitrées; Murs extérieurs de l'agrandissement latéral : bloc de béton avec revêtement en acier inoxydable à la canadienne (MBB1), portes extérieures en acier.
- Cloisons intérieures : en bloc de béton puisqu'il y a beaucoup de circulation de matériel, nécessitant donc un matériau plus robuste (Cbb1). Certaines cloisons intérieures sont vitrées (secteur administration et loges).

- Planchers des agrandissements : la structure n'est pas spécifiée donc typologie 1.Standard en poutrelles ajourées, spécification d'une chape de béton (P3)
- Toits des agrandissements ne sont pas spécifiés donc typologie 1.Standard en poutrelles ajourées en acier (T1)

## 6. Abbaye des Moniales Bénédictines de Joliette

Nouvelle vocation proposée : artistique, culturel, loisir et tourisme, incluant des studios de création, une salle polyvalente, des espaces d'expositions, un café-restaurant, des ateliers, et des résidences d'artistes

Modifications envisagées : Proposition d'un agrandissement et altérations minimales des cloisons intérieures pour retravailler la circulation. La conception proposée dans l'étude de potentiel s'enligne avec les assemblages décrits dans la typologie "5.Design", c'est-à-dire une structure d'acier avec des murs extérieurs entièrement vitrés.

## 7. Le Pratto, Percé

Nouvelle vocation proposée : bibliothèque et salles de conférence et de rencontre

Modifications envisagées : Proposition d'un agrandissement et de rénovations majeures dans l'existant. Ce projet s'est rendu jusqu'à l'étape du PFT, en collaboration avec des ingénieurs et divers spécialistes. Cette proposition a donc plusieurs orientations quant aux assemblages et aux matérialités, découlant des intentions architecturales ainsi que des prescriptions des ingénieurs.

- Nouvelles fondations en béton : dans l'agrandissement (MF2) et dans l'existant suite à l'excavation du vide sanitaire (MF1)
- Structure de l'agrandissement : il n'y a pas de précisions pour la structure dans le PFT, on applique alors les caractéristiques de la typologie "1.Standard", soit une structure en acier profilé en I
- Renforcement de la structure d'acier de l'existant : comme nous n'avons pas d'indication plus précise sur comment la structure doit être renforcée, nous comptabilisons ce travail en dédoublant la structure entière du sous-sol (colonnes et poutres en acier profilé en I).
- Murs extérieurs de l'agrandissement : murs en ossature légère de bois avec parement en bois (M6). La conception indique un parement en bardeau de cèdre, mais Athena IE4B n'a pas ce matériau, donc on le remplace par du "*wood tongue and groove siding - cedar*", tel que l'assemblage M6.
- Cloisons intérieures au sous-sol : Ces cloisons sont spécifiées comme étant en bloc de béton puisqu'il y a beaucoup de circulation de matériel à cet étage, nécessitant donc un matériau plus robuste (Cbb1).
- Cloisons normales : Il est indiqué qu'elles doivent avoir un indice de transmission du son d'au moins 50 donc avec un matériau absorbant (C3).

- Planchers : Il est spécifié que la structure des planchers de l'agrandissement est en poutrelles ajourées en bois avec une chape de béton (P4 et Pcb). Les planchers de l'existant sont aussi à refaire en utilisant les mêmes matériaux que l'agrandissement.
- Toit de l'agrandissement : Le toit est en poutrelles ajourées en bois avec une membrane élastomère (T2).

### **8. Église Saint-Louis de Chambord**

Nouvelle vocation proposée : centre communautaire incluant une bibliothèque, une friperie, une agora, la maison des jeunes, des locaux pour des organismes et le club de pétanque.

Modifications envisagées : Proposition de construire un nouveau volume de deux étages dans la nef, sans agrandissement extérieur. Tous les assemblages suivent la typologie "1. Standard".

### **9. Église Saint-Jean-L'Évangéliste de Coaticook**

Nouvelle vocation proposée : locaux et bureaux pour la maison de la famille, incluant une halte-garderie, de bureaux pour des organismes, et un espace pour les cadets

Modifications envisagées : Proposition de construire des volumes fermés dans la nef sur une plateforme et quelques cloisons au sous-sol, sans agrandissement extérieur. Tous les assemblages suivent la typologie "1. Standard".

### **10. Église St-Adalbert**

Nouvelle vocation proposée : espaces communautaires et commerciaux, incluant un parc intérieur adaptable en espace de réception, dépanneur, café, garderie, et un espace des jeunes.

Modifications envisagées : Proposition d'ajouter un plancher en mezzanine dans le chœur et de construire des modules de jeux permanents dans une section de la nef (ces derniers ne sont pas comptabilisés dans l'ACV), sans agrandissement extérieur. Tous les assemblages suivent la typologie "1. Standard".

### **11. Église Notre-Dame-de-L'Assomption de Victoriaville**

Nouvelle vocation proposée : activités communautaires, agricoles et commerciales; agriculture verticale, espace polyvalent pour rencontres, ateliers de fabrication et réparation, bureaux.

Modifications envisagées : Proposition de construire un volume de 3 étages à l'intérieur de la nef, sans agrandissement extérieur. Tous les assemblages suivent la typologie "1. Standard".

# Émissions GES d'opération des transformations

## Mode d'opération et habitude d'occupation

L'occupation et l'opération futures des bâtiments peuvent être très variables dans le temps et selon le bâtiment. La consommation énergétique prévue peut donc varier selon une large fourchette.

Le but est de faire une comparaison de la consommation énergétique de bâtiments qui logeraient sensiblement les mêmes usages selon les mêmes horaires dans une version du bâtiment existant transformé et dans une version de son équivalent neuf. Puisque l'achalandage des bâtiments peut être très variable et difficile à évaluer, la présence d'occupants a été négligée tant dans le scénario de bâtiment transformé que pour son équivalent neuf. L'impact thermique associée à la présence des occupants a donc été évacué des modélisations pour les deux scénarios pour l'ensemble des cas étudiés.

L'horaire d'occupation des bâtiments transformés est de 12 heures par jour, 7 jours par semaine. Une température moyenne en tout temps de 20°C a été considérée. La température extérieure de référence pour établir la durée de la saison de chauffage est de 18°C. La ventilation est opérée selon l'horaire d'occupation. L'éclairage est utilisé en moyenne 8 heures par jour. Des charges électriques autres, correspondant à 1W/m<sup>2</sup> pendant 8 heures par jour sont prises en compte. La consommation d'eau chaude sanitaire correspond à 0,1 l/m<sup>2</sup> par jour.

## Enveloppe

L'enveloppe des bâtiments transformés demeure essentiellement la même que celle des bâtiments d'origine. Des ajustements ont été effectués selon s'il y a eu des démolitions partielles ou des agrandissements. L'enveloppe des portions agrandies a été modélisée selon les facteurs isolants dictés par les plus récentes normes en vigueur. Sauf lorsque spécifié, il n'y a pas eu d'amélioration thermique de considérés pour les enveloppes des bâtiments existants. Seule l'étanchéité des fenêtres a été augmentée d'un niveau afin de simuler une légère rénovation de ces dernières. Tout comme pour les bâtiments existants, aucune occultation solaire externe n'a été prise en considération pour les modélisations.

## Énergie et système de chauffage

Plusieurs facteurs ont mené à l'hypothèse du type d'énergie qui serait utilisée pour les bâtiments convertis. Comme la situation environnementale est favorable à la décarbonation des opérations des bâtiments, l'utilisation de l'électricité devient un choix par défaut pour l'ensemble des bâtiments. Dans le cas des grands bâtiments qui sont alimentés par le gaz naturel, une variante biénergie est modélisée. Cette option est représentative d'un choix logique qui pourrait être fait pour limiter les appels de puissance électrique et les coûts associés, en plus de profiter d'encouragements financiers. Exceptionnellement, dans le cas de l'église Saint-Michel-de-Percé, malgré l'absence du réseau de gaz naturel, une variante biénergie électricité/propane est modélisée, puisque le bâtiment nécessite une puissance de chauffage importante. Une étude indépendante soutient également la validité de cette hypothèse. Pour la biénergie, il est considéré que 70% de la chaleur requise pour le chauffage est fournie par l'électricité et les 30% restants sont fournis par un système à énergie fossile.

Lorsque l'électricité fournit les besoins thermiques, l'efficacité considérée est de 100%. Elle est de 85% dans le cas du gaz. Une variante de modélisation utilise le mazout avec une efficacité de 70%. Finalement, une variante est dotée d'un système géothermique ayant une efficacité de 300%.

## Climatisation

Aucune climatisation n'est incluse dans les modélisations des bâtiments transformés. Cette hypothèse s'inscrit dans une optique de conversion de bâtiment plus simple et à plus faible coût.

## Ventilation

Les modélisations énergétiques ont été pensées en considérant que ce sont des systèmes exclusivement dédiés à la distribution de l'air neuf qui sont en place dans les bâtiments transformés. En comparaison à un système de ventilation qui fait également la distribution du chauffage, un système dédié à l'air neuf a des conduits de plus petit diamètre, qui s'intègrent donc mieux dans un bâtiment existant. Cette supposition est plus représentative des projets pour lesquels on viserait à limiter l'ampleur des modifications et donc, des coûts associés. Ce choix est aussi plus plausible dans les cas où les systèmes de chauffage en place sont conservés.

Les débits d'air neuf requis ont été calculés à partir des usages et occupations supposés pour les différents espaces, selon la norme ASHRAE 62.1. Pour certains bâtiments, il y a une forte disparité entre le débit théorique maximum requis et la moyenne réelle dans le temps. C'est le cas des bâtiments qui logent principalement des lieux de rassemblement. Pour de tels cas, afin de tenir compte d'une éventuelle gestion adaptée des débits d'air neuf, ce sont les  $\frac{2}{3}$  du débit calculé qui ont été considérés pour la modélisation (Saint-James-de-Hatley, Sainte-Christine-d'Auvergne, Montebello). Dans le cas de l'église Saint-Michel-de-Percé, le programme architectural a même justifié de considérer seulement la  $\frac{1}{2}$  du débit maximum calculé.

Une récupération de chaleur sur l'air évacué, efficace à 60%, a été considérée. Dans tous les cas de bâtiments transformés, les besoins thermiques de la ventilation sont comblés par de l'électricité. Pour une variante, un système géothermique comble 80% des besoins thermique avec une efficacité de 300%. Les 20% de besoins restants sont comblés par l'électricité. La puissance totale considérée pour les moteurs des unités de ventilation est de 2,12 W/l/s (1 W/cfm) d'air neuf, suivant l'horaire d'opération des édifices. L'impact thermique des moteurs de ventilation sur le chauffage est considéré à 50%.

## Éclairage

Il est supposé que l'essentiel de l'éclairage des bâtiments est remplacé par des unités modernes. Une puissance consommée de 6W/m<sup>2</sup> a été prise en compte. L'impact thermique de l'éclairage sur le chauffage a été considéré à 100%.

## Autres charges

Des charges électriques autres, équivalant à 1 W/m<sup>2</sup> pendant 8 heures par jour, ont été incluses dans les modélisations. Lorsqu'applicable, une charge électrique moyenne de 200 W est calculée pour le circulateur des

chaudières pendant toute la durée de la saison de chauffage. L'impact thermique de ces charges sur le chauffage est considéré à 100%.

### Eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est produite par des réservoirs électriques.

Voir le tableau en annexe pour les détails et variations de chaque cas de transformations.

# SCÉNARIO 2 : LE BÂTIMENT COMPARATIF NEUF

## Émissions GES intrinsèques des comparatifs neufs

La conception des bâtiments comparatifs neufs se veut simple et représentative des pratiques constructives d'aujourd'hui.

### Principes généraux de la conception

#### **Choix de matériaux :**

Les bâtiments comparatifs neufs sont conçus selon la typologie "1.Standard", avec quelques particularités selon les usages. Pour comparer l'impact des choix de matériaux, nous avons comparé les émissions GES intrinsèques des cinq différentes typologies de conceptions sur les bâtiments de comparatifs neufs de Sainte-Christine-d'Auvergne, Montebello, Joliette et Chambord.

#### **Aménagements et superficies :**

Les bâtiments comparatifs sont conçus pour accueillir les mêmes usages que les transformations. En général, chaque local proposé dans la transformation est répliqué dans le comparatif neuf avec la même superficie et parfois les mêmes dimensions. Dans certains cas, la superficie neuve totale est plus grande ou plus petite que celle de la transformation. Les aménagements des bâtiments comparatifs sont planifiés expressément pour le nouvel usage, ils sont alors plus efficaces dans leur emploi de l'espace que dans les transformations, notamment dans les circulations. Par ailleurs, les choix d'aménagements des comparatifs neufs sont conçus selon ce que nous jugeons qui se ferait en réalité si le bâtiment était construit à neuf pour répondre aux besoins, ce qui explique les différences entre les superficies totales et le nombre d'occupants (voir tableau en annexe).

Un mot sur les critères de comparaison :

Afin de faire une comparaison adéquate entre les scénarios de conservation-transformation et de démolition-construction, il faut bien définir les critères de comparaison. Athena nomme l'usage, le niveau de détails des assemblages, et l'étendue des phases d'analyse de cycle de vie (Athena, 2024). Le fait que les superficies et les nombres d'occupants varient ne pose pas de souci pour la comparaison. Le but du présent exercice est de déterminer le gain écologique entre les deux scénarios, il s'agit alors de comparer deux stratégies immobilières, plutôt que deux conceptions architecturales.

#### **Structure :**

Les superficies des espaces sont aménagées sur un quadrillage de travées standard, soit autour de 6,5m. Certains bâtiments comparatifs neufs ont des travées plus larges pour accommoder des espaces libres de colonnes, selon l'usage des lieux.

## **Mécanique :**

Autant que possible, un espace mécanique est réservé dans le bâtiment comparatif neuf. Cependant, plusieurs des nouveaux bâtiments d'aujourd'hui logent les équipements mécaniques au toit, nous avons donc jugé qu'il n'était pas primordial de prévoir l'espace complet pour la mécanique à l'intérieur du bâtiment.

## Particularités de chacune des conceptions :

### **1. Presbytère St-Michel de Bellechasse**

Vocation : activités culturelles et touristiques, hall multifonctionnel, résidences pour artistes, ateliers, espace d'exposition, café et boutique.

La superficie totale du comparatif neuf de Saint-Michel de Bellechasse est légèrement plus grande que celle de la transformation pour mieux répondre aux besoins de l'usage. Par exemple, les chambres dans l'existant sont très petites (entre 11-14 m<sup>2</sup>); les chambres proposées dans le comparatif neuf sont d'environ 19 m<sup>2</sup> (4 x 4,75 m). Les espaces d'exposition (existant 122 m<sup>2</sup>; neuf 188 m<sup>2</sup>) et de boutique (existant 27 m<sup>2</sup>; 48 m<sup>2</sup>) sont aussi un peu plus grands dans le comparatif neuf. Pour ce qui est de la conception architecturale du comparatif neuf, le hall principal et le couloir menant aux espaces d'exposition sont en murs rideaux.

### **2. Église St-James de Hatley**

Vocation : Salle multifonctionnelle, pour rassemblements et spectacles, et continuation des activités religieuses

L'aménagement du bâtiment existant de St-James est simple et sa reconversion est sans transformation physique. Le bâtiment comparatif neuf reprend ce même aménagement avec une superficie légèrement plus grande pour accueillir le même nombre de personnes et permettre des espaces de support plus adéquats. L'entrée principale dans le comparatif neuf est entièrement vitrée.

### **3. Église de Sainte-Christine-d'Auvergne**

Vocation : activités communautaires, culturelles, loisirs et commerciales, espace flexible et adaptable pour une bibliothèque, des réceptions et rassemblements, petit espace de commerce, et mur d'escalade.

L'aménagement du bâtiment comparatif neuf pour Sainte-Christine-d'Auvergne reprend le concept d'un espace ouvert, flexible et de double hauteur au rez-de-chaussée avec une mezzanine en U à l'étage. Le comparatif neuf réussit à loger le même nombre de personnes, sinon même plus, pour les mêmes usages avec une plus petite superficie. L'entrée principale et le commerce ont un mur rideau.

### **4. Église Notre-Dame de Bonsecours de Montebello**

Vocation : salle multifonctionnelle, spectacles, réceptions et diffusion, et espace de rencontres

Montebello est un autre exemple qui démontre la capacité d'abriter le même nombre de personnes et les mêmes usages dans une plus petite superficie, par une rationalisation de l'aménagement. L'espace principal de la salle

de spectacle est de double hauteur avec une mezzanine pour les spectateurs. Les volumes avant et arrière ne sont que d'un étage et logent les usages en support à l'espace multifonctionnel. Les espaces pré-spectacle, boutique, exposition espace jeunesse, etc., sont entourés d'un mur rideau.

### **5. Église Saint-Michel-de-Percé**

Vocation : salle multifonctionnelle, spectacles, réceptions et diffusion, et espaces de rencontres

La superficie totale du comparatif neuf de pour l'église de Saint-Michel-de-Percé est plus petite que celle de la transformation, grâce à un aménagement plus efficace. Le comparatif neuf loge le même nombre de personnes dans la salle de spectacle. Pour avoir un comparatif plus juste, la salle de spectacle détient un espace en double hauteur. Le mur extérieur de l'entrée principale au foyer est entièrement vitré.

### **6. Abbaye des Moniales Bénédictines de Joliette**

Vocation : artistique, culturel, loisir et tourisme, incluant des studios de création, une salle polyvalente, des espaces d'expositions, un café-restaurant, des ateliers, et des résidences d'artistes

L'aménagement dans le comparatif neuf réunit tous ces espaces dans un bâtiment de deux étages, donnant une superficie plus petite que la transformation, mais avec les mêmes activités et pouvant même accueillir un peu plus de personnes. Les espaces d'accueil et du restaurant sont munis de murs rideaux.

### **7. Le Pratto, Percé**

Vocation : bibliothèque et salles de conférence et de rencontre

Le comparatif neuf pour le Pratto est le seul ayant un sous-sol puisque la transformation compte beaucoup sur cet étage pour les usages de services et pour loger le fab lab bruyant. L'aménagement et la succession des espaces de la transformation sont repris dans les plans du comparatif neuf. Cet exemple permet d'explorer les conséquences de l'inclusion d'un sous-sol en termes de carbone intrinsèque. L'entrée, l'atrium, l'espace enfant et la salle multifonctionnelle sont vitrés avec des murs rideaux.

### **8. Église Saint-Louis de Chambord**

Vocation : centre communautaire incluant une bibliothèque, une friperie, une agora, la maison des jeunes, des locaux pour des organismes et le club de pétanque.

Le comparatif neuf pour Chambord offre plus d'espaces locatifs pour les organismes que la transformation; la collectivité et la fabrique (client) avaient soulevé un manque d'espace pour les organismes, qui n'aurait pas tout à fait été comblé par la transformation. Par ailleurs, la bibliothèque prévue dans le comparatif neuf est légèrement plus petite que celle proposée dans la transformation; la bibliothèque proposée dans la transformation dépasse la superficie subventionnée par le programme d'immobilisation. La bibliothèque conçue dans le comparatif neuf, quant à elle, se limite à la superficie pouvant être financée par le programme. Le comparatif neuf répond aux

besoins évoqués dans une superficie plus petite que celle de la transformation. L'entrée est soulignée par un mur rideau.

### **9. Église Saint-Jean-L'Évangéliste de Coaticook**

Vocation : locaux et bureaux pour la maison de la famille, incluant une halte-garderie, de bureaux pour des organismes, et un espace pour les cadets

Le comparatif neuf pour Coaticook reprend tous les espaces de l'usage de la transformation dans un bâtiment plus petit que l'église. Cette dernière comporte beaucoup d'espaces ouverts de circulation sans usage défini, ce qui explique la superficie plus petite du nouveau bâtiment comparatif. L'accueil et l'espace flexible pour les rassemblements / l'aire de jeu sont munis de murs rideaux.

### **10. Église St-Adalbert**

Vocation : espaces communautaires et commerciaux, incluant un parc intérieur adaptable en espace de réception, dépanneur, café, garderie, et un espace des jeunes.

Le comparatif neuf pour St-Adalbert a une superficie plus grande que celle de la transformation, car si le bâtiment était construit à neuf, il serait dimensionné pour accueillir un terrain de basketball. Puisqu'il comporte une aire de jeu intérieure, les murs et les cloisons du bâtiment seraient en bloc de béton, comme les précédents de gymnases, pour avoir des surfaces plus résistantes aux chocs. Cette conception n'a pas de murs rideaux et les ouvertures donnant dans l'espace principal sont en hauteur.

### **11. Église Notre-Dame-de-L'Assomption de Victoriaville**

Vocation : activités communautaires, agricoles et commerciales; agriculture verticale, espace polyvalent pour rencontres, ateliers de fabrication et réparation, bureaux.

Le comparatif neuf de Victoriaville rassemble les espaces proposés dans la transformation sur deux étages avec une superficie un peu plus petite que la transformation. L'espace d'entrée et de vente au public est annoncé avec un mur rideau.

# Émissions GES d'opération des comparatifs neufs

## Mode d'opération et habitude d'occupation

Comme pour les bâtiments transformés, l'horaire d'occupation des bâtiments équivalents neufs est de 12 heures par jour, 7 jours par semaine. En saison de chauffage, le point de consigne en période occupée est de 22°C et de 18°C en période inoccupée. En saison de climatisation, le point de consigne est de 24°C en tout temps. La température extérieure de référence pour établir la durée de la saison de chauffage est de 18°C. La ventilation fonctionne selon l'horaire d'occupation. L'éclairage est utilisé en moyenne 8 heures par jour. Des charges électriques autres, correspondant à 1 W/m<sup>2</sup> pendant 8 heures par jour sont prises en compte. La consommation d'eau chaude domestique correspond à 0,1 l/m<sup>2</sup> par jour.

## Enveloppe

Les bâtiments équivalents neufs sont modélisés suivant les plus récentes normes en vigueur. Encore une fois, aucune occultation solaire externe n'a été prise en considération pour les modélisations.

## Énergie et systèmes mécaniques

Comme pour de nombreux bâtiments modernes, le chauffage, la climatisation et le traitement de l'air sont réalisés par des unités mécaniques en toiture. Étant commun pour ce type de bâtiment et en accord avec la nouvelle réalité environnementale et économique, les variantes de bâtiments équivalents neufs sont considérées comme fonctionnant entièrement à l'électricité, ou encore, utilisant un système biénergie électricité/gaz pour les besoins thermiques du chauffage et de la ventilation. Dans ce dernier cas, l'électricité fournit 70% des besoins thermiques et le gaz complète pour les 30% restants. Le chauffage électrique a une efficacité de 100% tandis que celle du chauffage au gaz est de 85%.

## Climatisation

Reflétant la norme dans ce genre de construction neuve, les bâtiments équivalents neufs sont considérés comme étant climatisés. Le rendement du système de climatisation est de 350%.

## Ventilation

La distribution de l'air neuf est faite via les unités centrales de chauffage/climatisation/traitement d'air. Un débit d'air neuf typique, découlant de la norme ASHRAE 62.1, se situant entre celui d'un édifice à bureaux et celui d'une école, de 1,18 l/s/m<sup>2</sup> (0,25 cfm/pi<sup>2</sup>) de surface occupable est considéré. La puissance totale des moteurs des unités de ventilation est 1,91 W/l/s (0,9 W/cfm), suivant l'horaire d'occupation des édifices. L'impact thermique des moteurs de ventilation est considéré à 50% sur la climatisation et le chauffage. Un taux de récupération de chaleur de 60% est pris en compte pour l'air évacué. L'air neuf est chauffé par la même composition énergétique que celle du chauffage de l'espace, soit 100% électrique ou par un mixte biénergie (électricité/gaz), selon la variante.

## Éclairage

Une puissance consommée de  $6\text{W/m}^2$  a été prise en compte. L'impact thermique de l'éclairage sur le chauffage a été considéré à 100%.

## Autres charges

Des charges électriques autres, équivalant à  $1\text{W/m}^2$  pendant 8 heures par jour, ont été incluses dans les modélisations. L'impact thermique de ces charges sur le chauffage est considéré à 100%.

## Eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est produite par des réservoirs électriques.

Voir le tableau en annexe pour les détails et variations de chaque cas de comparatifs neufs.

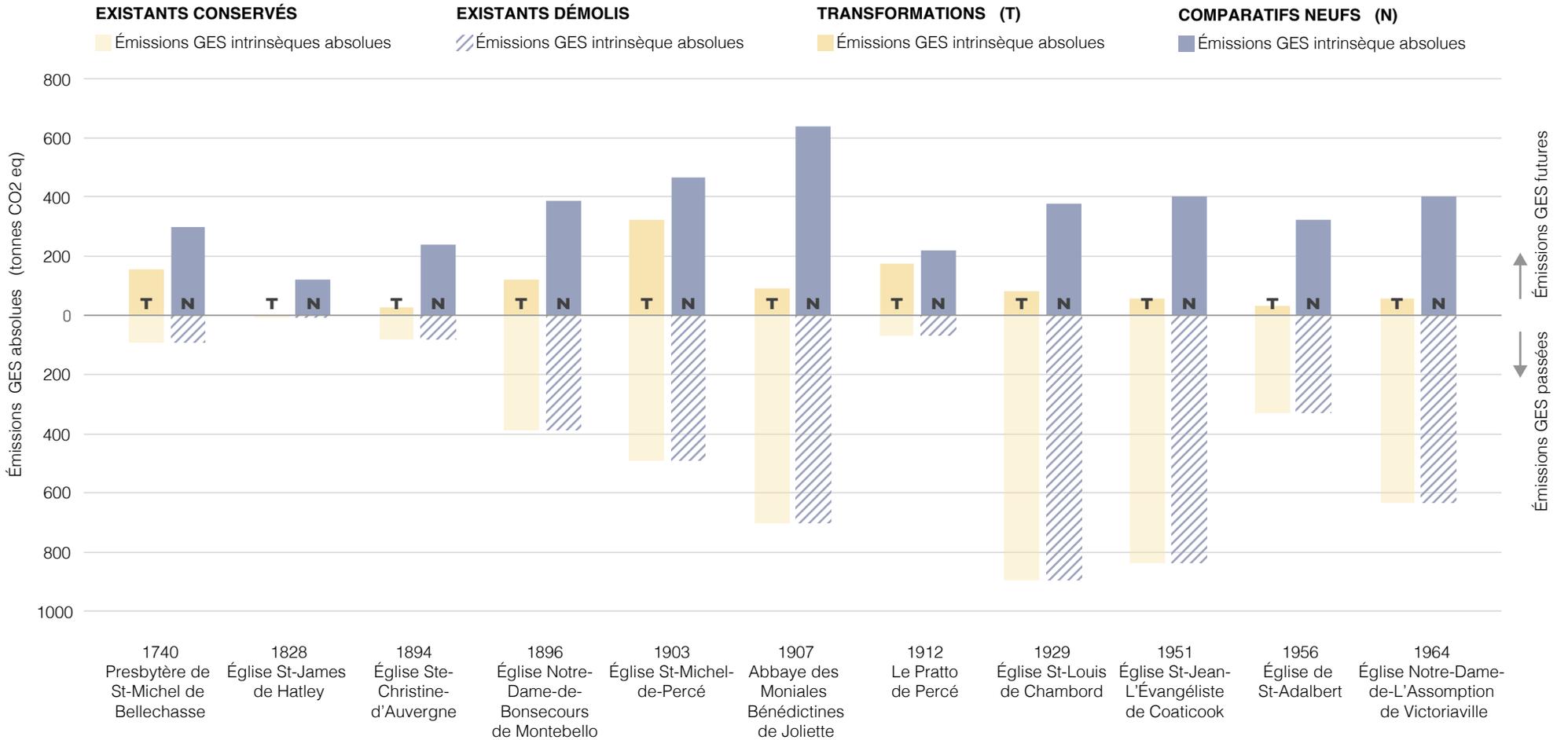
# INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

## Émissions GES intrinsèques

Le graphique à la page suivante montre les émissions intrinsèques absolues. Les émissions passées, soit de l'existant, sont montrées sous l'axe des abscisses, tandis que les émissions futures, celles des transformations et des comparatifs neufs, sont au-dessus. Selon la date de construction et la grandeur du bâtiment, les émissions intrinsèques de l'existant sont souvent plus importantes que les scénarios futurs. Les bâtiments existants plus récents, comme Coaticook, comportent des matériaux plus émetteurs en GES, tels que le béton et l'acier. Les transformations étant toujours moins intensives que les travaux d'une construction neuve au plan intrinsèque, la transformation se retrouve toujours gagnante pour l'aspect du carbone intrinsèque absolu.

# ÉMISSIONS GES INTRINSÈQUES ABSOLUES

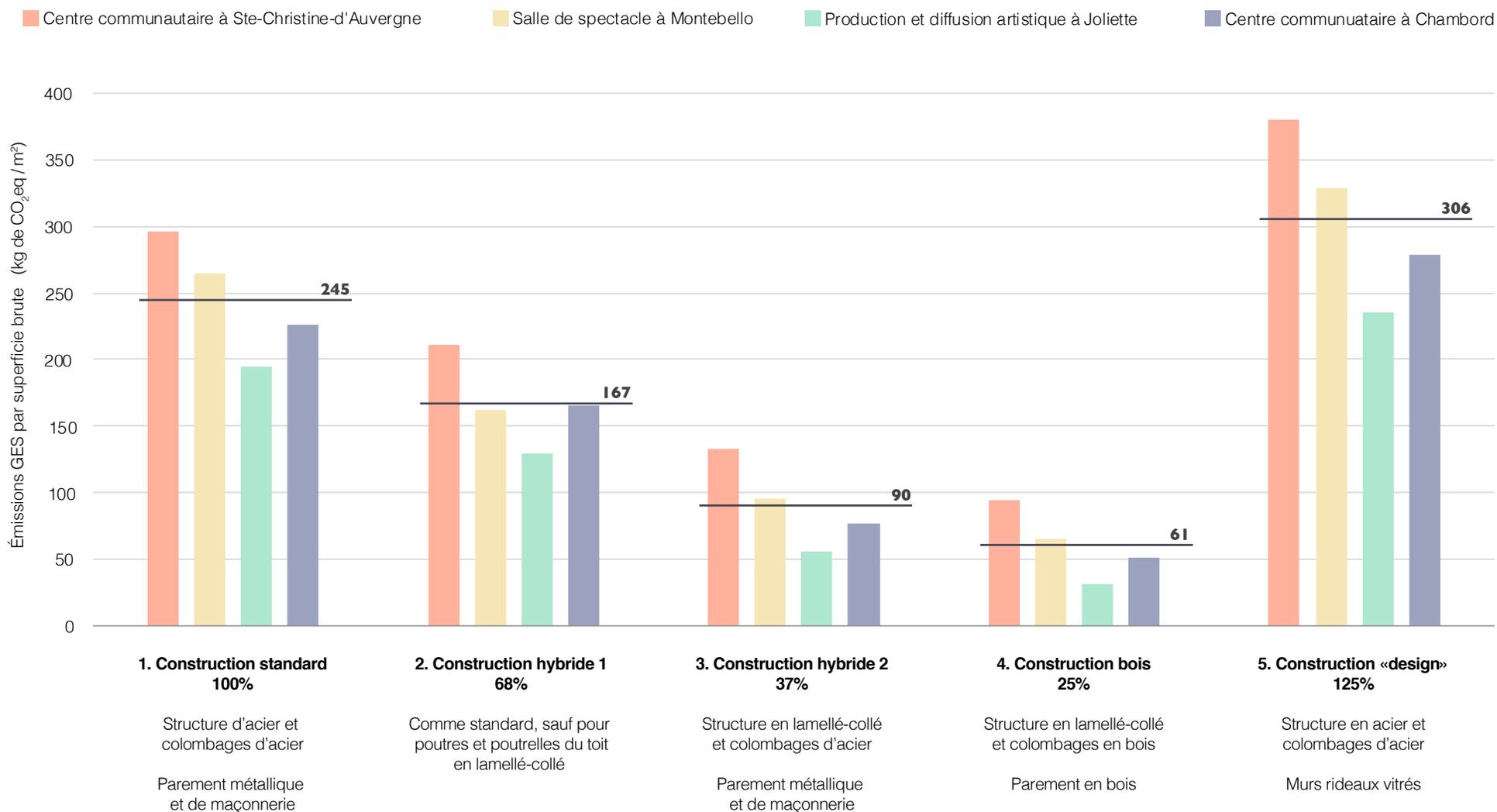
## Existant, transformation et comparatif



## Choisir les matériaux d'assemblage

Pour certains comparatifs neufs, nous avons testé différentes typologies de constructions. C'est le cas pour Sainte-Christine-d'Auvergne, Montebello, Joliette et Chambord. Dans le graphique suivant, les émissions GES intrinsèques absolues sont rapportées à la superficie brute occupable. De toute évidence, les typologies employant du bois sont moins émettrices. La typologie de construction en bois (#4) représente en moyenne 25% des émissions GES de la typologie standard. D'autre part, la typologie plus contemporaine (#5), composée entièrement de murs vitrés, est en moyenne plus émettrice que la conception standard. Les requalifications patrimoniales comprenant des agrandissements emploient souvent ce type de construction. Quoique que les agrandissements représentent qu'une fraction d'un édifice neuf, le poids carbone des matériaux choisis dans les deux cas est à considérer pour réduire les émissions GES et l'utilisation du bois est à prioriser.

## Comparaison des choix de matériaux : ÉMISSIONS GES de QUATRE BÂTIMENTS NEUFS

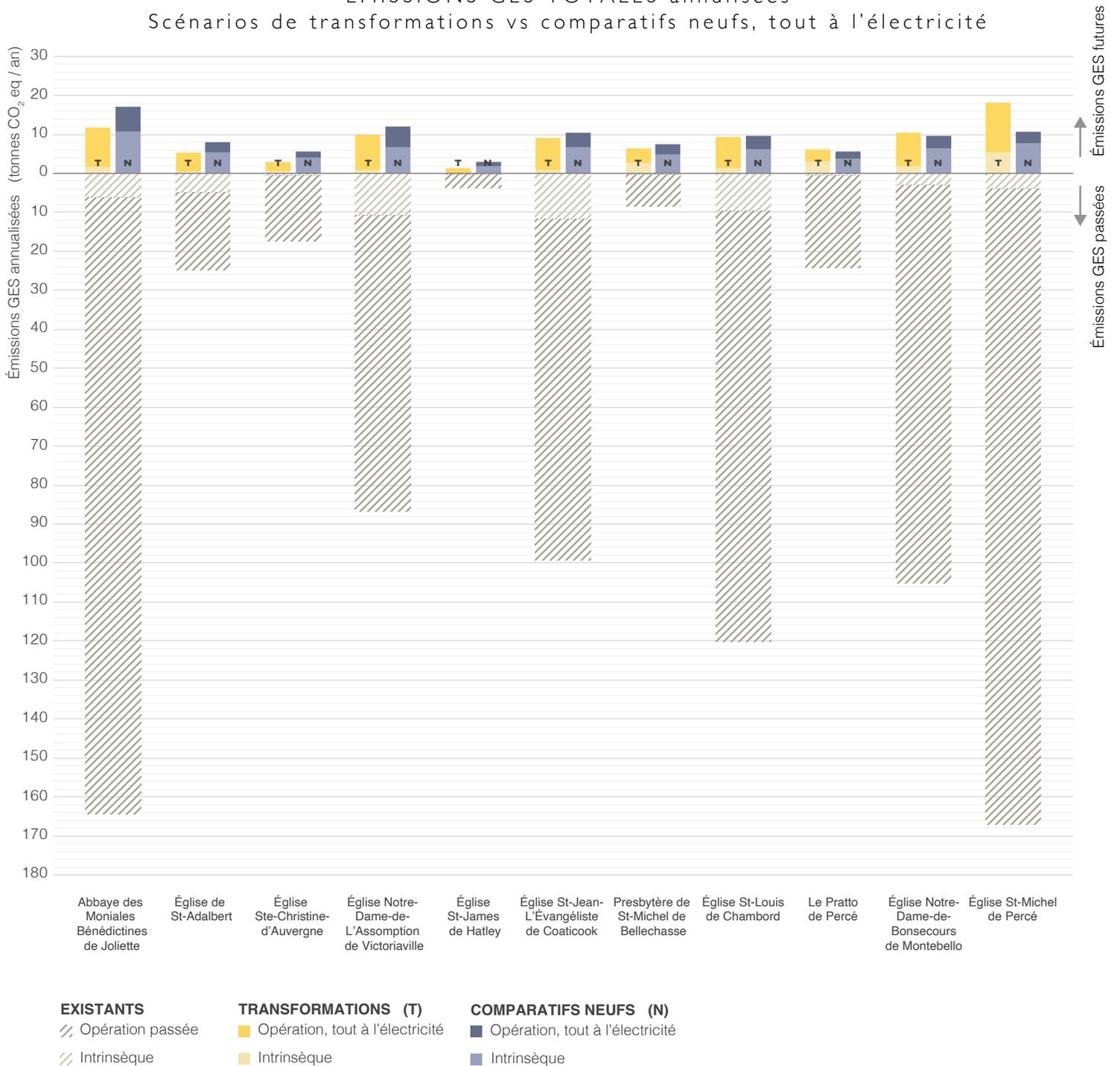


## Comparer les émissions passées et futures

Le graphique ci-après illustre l'analyse de cycle de vie incluant les émissions de GES intrinsèques et d'opération. Sous l'axe des abscisses, les émissions GES passées sont représentées, rapportées à l'année (âge de l'existant). Les scénarios futurs de transformation et de comparatif neuf sont représentés au-dessus en bleu et en jaune, quantifiant les émissions GES intrinsèque et d'opération par année (sur 60 ans), dans une situation entièrement à l'électricité.

Nous constatons que les émissions GES passées de l'existant sont très élevées par rapport à celles des scénarios futurs. Cela est surtout dû aux activités d'opération, qui impliquaient des sources d'énergie très polluantes, telles que le charbon et le mazout. Lors des requalifications, il est primordial de retirer les sources de chauffage à base de combustibles fossiles des bâtiments existants.

## ÉMISSIONS GES TOTALES annulées Scénarios de transformations vs comparatifs neufs, tout à l'électricité

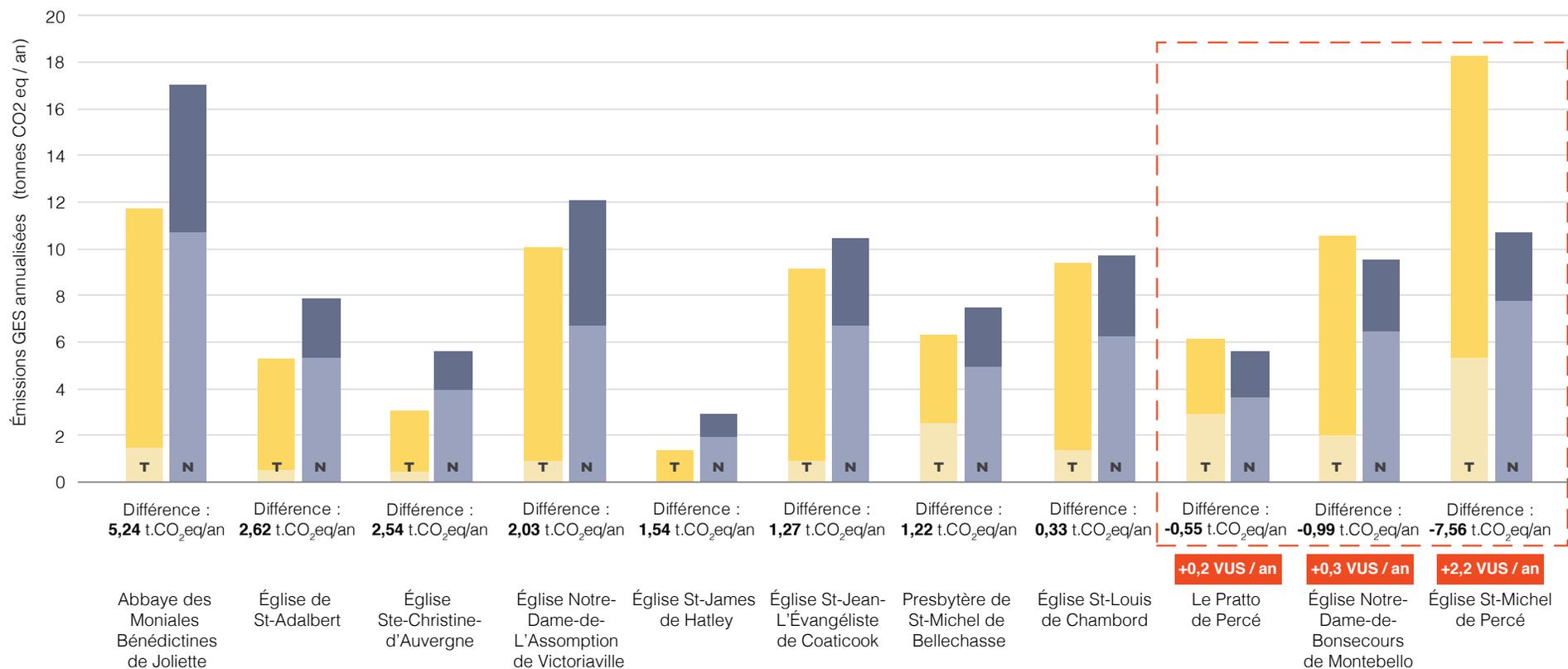


## Entreprendre une transformation ou construire neuf ?

Dans le graphique suivant, nous comparons les émissions intrinsèques et d'opération uniquement des transformations et des comparatifs neufs, toujours dans une optique d'opérations entièrement électrique. Les cas sont mis en ordre décroissant d'écart entre la transformation et le comparatif neuf. Les cas de transformation plus gagnants se trouvent donc à gauche. Les résultats indiquent que les scénarios de transformation (en jaune) l'emportent généralement sur les scénarios de démolition-construction neuve (en bleu) si on chauffe tous les immeubles à l'électricité.

Les cas qui font exception, mis en évidence par le rectangle rouge, bénéficient de quelques explications. Les églises Notre-Dame-de-Bonsecours de Montebello et l'église Saint-Michel de Percé sont toutes deux très vastes en superficie comme en hauteur. Or leurs bâtiments comparatifs neufs sont modélisés pour des usages culturels selon les pratiques contemporaines ; les volumes à chauffer sont plus modestes, en plus de présenter des enveloppes beaucoup plus performantes. Même dans le pire cas, soit celui de l'église de Percé, l'écart avec le comparatif neuf s'avère somme toute raisonnable. À titre d'exemple, la quantité supplémentaire d'émissions dans le scénario de transformation de l'église St-Michel de Percé ne représente que l'équivalent de la consommation de 2,2 véhicules VUS par année (véhicule consommant 10L / 100km et parcourant annuellement 15 000 km, par année; Carboneutre/LCL, 2023).

## ÉMISSIONS GES TOTALES annualisées Scénarios de transformations vs comparatifs neufs, tout à l'électricité



### TRANSFORMATIONS (T)

- Opération, tout à l'électricité
- Intrinsèque\*

### COMPARATIFS NEUFS (N)

- Opération, tout à l'électricité
- Intrinsèque\*

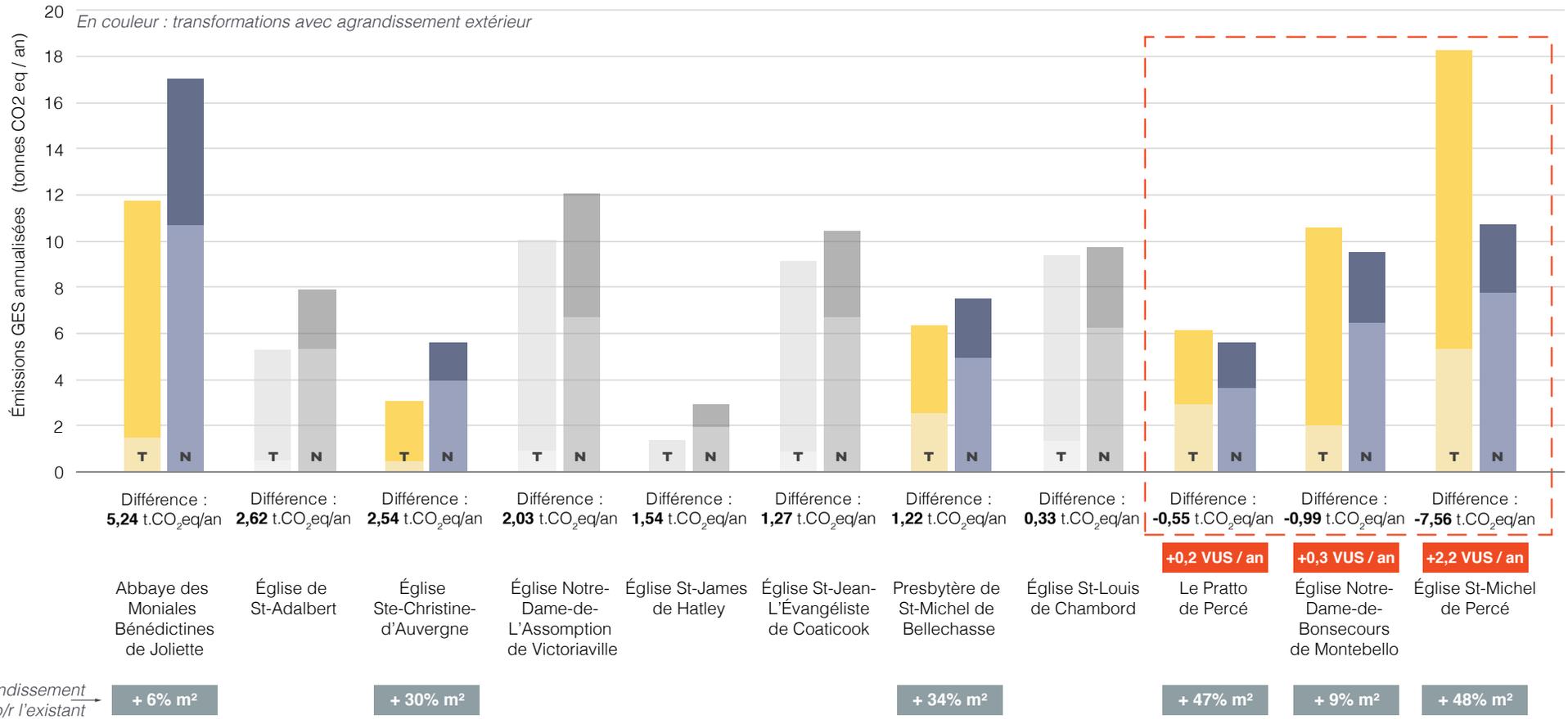
\* n'inclut pas le carbone intrinsèque du bâtiment existant

Les facteurs qui mènent à un bilan carbone positif ou négatif dans le cas d'une transformation ou d'une construction neuve sont variés. Dans le graphique à la page suivante, les cas de transformations comportant des agrandissements sont mis en évidence.

Au bas du graphique dans les rectangles gris-bleu, il est indiqué le pourcentage de la superficie de l'agrandissement par rapport à l'existant. Les requalifications du Pratto et de l'église Saint-Michel, à Percé, impliquent des agrandissements contemporains substantiels qui gonflent le carbone intrinsèque de la requalification et les besoins en consommation énergétique d'opération. Pour le cas de Montebello, l'agrandissement est moins significatif, ne représentant que 9% de l'existant. D'autres transformations impliquent des agrandissements et demeurent néanmoins gagnantes sur le plan des émissions totales : l'Abbaye des Moniales bénédictines de Joliette, l'église de Sainte-Christine d'Auvergne et le presbytère Saint-Michel-de-Bellechasse en témoignent. La présence d'un agrandissement n'est alors pas l'unique facteur déterminant si une transformation est gagnante ou non.

La consommation énergétique d'opération dépend de plusieurs facteurs : la température intérieure visée, le climat, les demandes de ventilation selon l'usage, la surface de l'enveloppe (notamment hauteur libre des espaces), la performance de l'enveloppe (étanchéité et isolation) et la performance des systèmes mécaniques. Quoique les bâtiments existants étudiés ont parfois des toits et des sous-sols isolés, la plupart ne comportent pas d'isolation thermique. Certains bâtiments existants plus récents détiennent un espace d'air qui améliore l'isolation de l'enveloppe. La faible performance de la plupart des enveloppes des bâtiments existants est évidemment un facteur pénalisant pour les scénarios de transformations étudiés, en plus de souvent avoir des agrandissements entièrement vitrés, soit sans isolation.

## ÉMISSIONS GES TOTALES annualisées Scénarios de transformations vs comparatifs neufs, tout à l'électricité



+0,2 VUS / an    +0,3 VUS / an    +2,2 VUS / an

### TRANSFORMATIONS (T)

- Opération, tout à l'électricité
- Intrinsèque\*

### COMPARATIFS NEUFS (N)

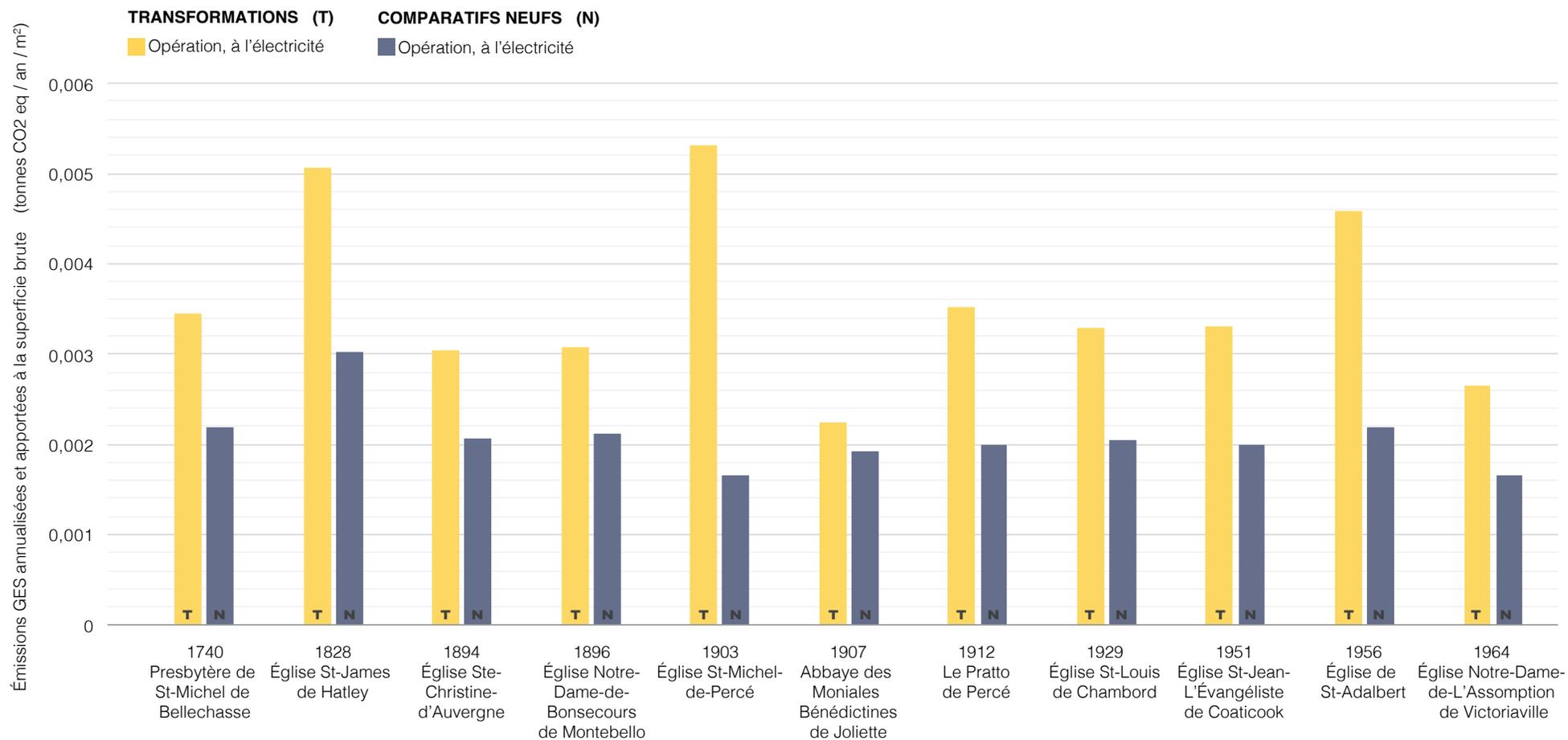
- Opération, tout à l'électricité
- Intrinsèque\*

\* n'inclut pas le carbone intrinsèque du bâtiment existant

Dans le graphique ci-après, les émissions GES par année liées uniquement au carbone d'opération à l'électricité sont rapportées au mètre carré, considérant la superficie brute occupable. Nous voyons que dans tous les cas, la transformation demande plus de consommation énergétique par mètre carré par rapport au comparatif neuf. La transformation de Saint-Michel de Percé requiert le plus d'énergie d'opération par mètre carré. Ce résultat est expliqué par plusieurs facteurs : le rapport élevé entre la surface d'enveloppe et la superficie brute occupable (à la fois de l'existant, mais aussi de l'agrandissement), l'enveloppe entièrement vitrée de l'agrandissement et l'enveloppe peu performante de l'existant.

Aux fins de comparaison, tous les scénarios ont été étalonnés ci-haut en fonction d'un apport énergétique tout électrique. Toutefois, le choix de l'électricité pour le chauffage des espaces ne va pas de soi lors de requalifications. Pour des raisons d'approvisionnement et de coût, dans le contexte actuel, certaines organisations pourraient faire le choix de systèmes mécaniques alimentés par un mixte biénergie (électricité et gaz) pour répondre aux besoins de chauffage.

## ÉMISSIONS GES D'OPÉRATION rapportées à l'année et à la superficie Transformation vs comparatifs neufs

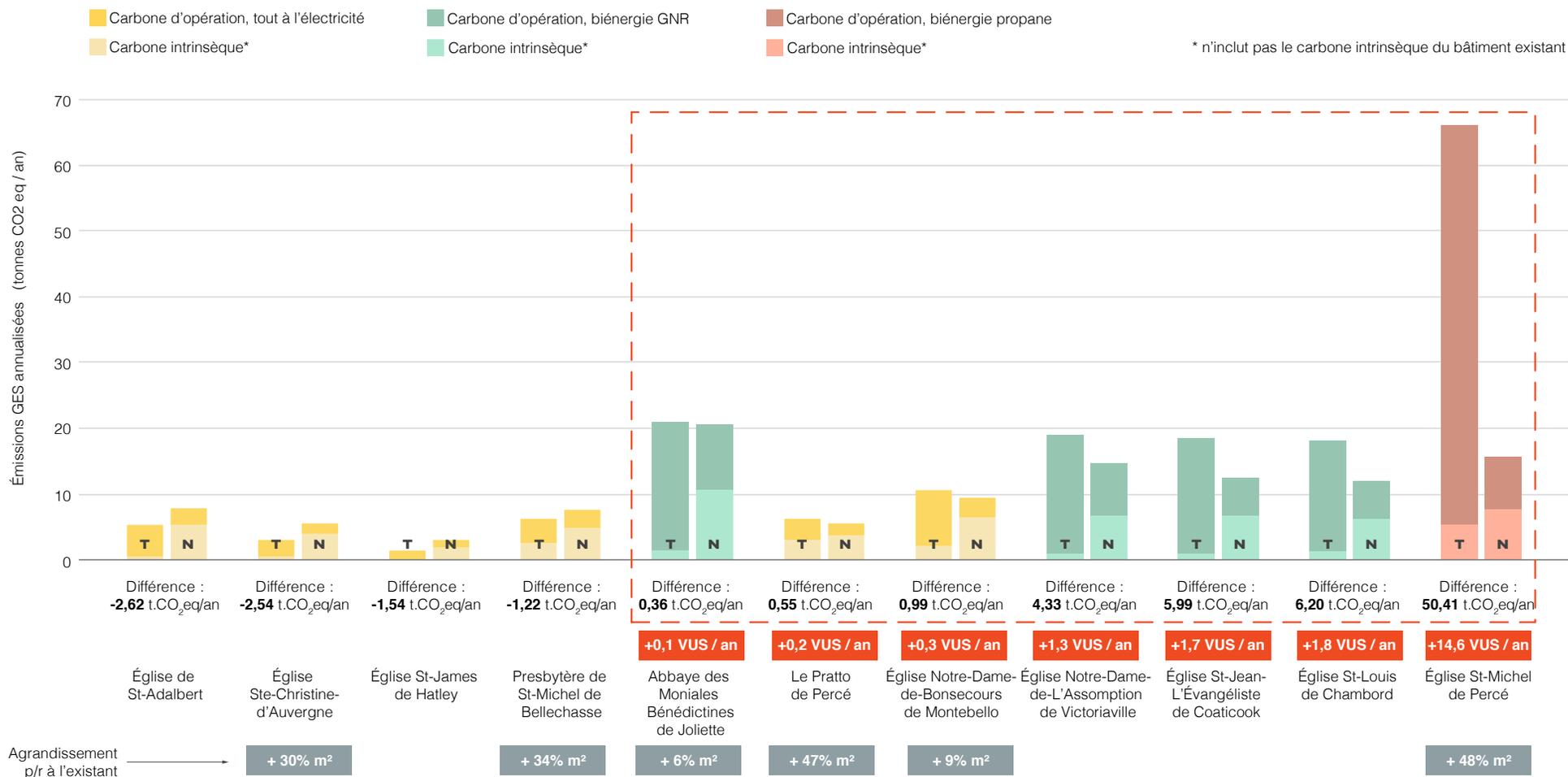


Le graphique à la page suivante illustre les cas considérés comme les plus probables, selon nos hypothèses, de sources d'énergie d'opération. Il est considéré que les sources d'énergie des comparatifs neufs sont les mêmes que celles qui ont été statuées pour les transformations.

En ayant une approche qui considère des choix énergétiques plus probables, moins de transformations se trouvent gagnantes sur le plan des émissions GES. Sauf pour le cas de l'église St-Michel de Percé, la différence entre les scénarios de transformations et de comparatifs neufs ne représente pas plus que la consommation de 2 voitures VUS (véhicule consommant 10L / 100km et parcourant annuellement 15 000 km, par année; Carboneutre/LCL, 2023). Les cas qui emploieraient des systèmes biénergie au gaz naturel renouvelable se retrouvent perdants pour les scénarios de transformations. Pour St-Michel de Percé, le système de biénergie au propane augmente considérablement ses émissions GES. Cependant, comme soulevés à travers d'autres graphiques, plusieurs facteurs font en sorte que la transformation de St-Michel de Percé est très émettrice. À titre de comparaison, nous avons simulé les émissions de ce cas en biénergie GNR (voir le deuxième graphique suivant). Nous voyons que les émissions de la transformation demeurent tout de même élevées, mais moins importantes que le cas de la biénergie au propane.

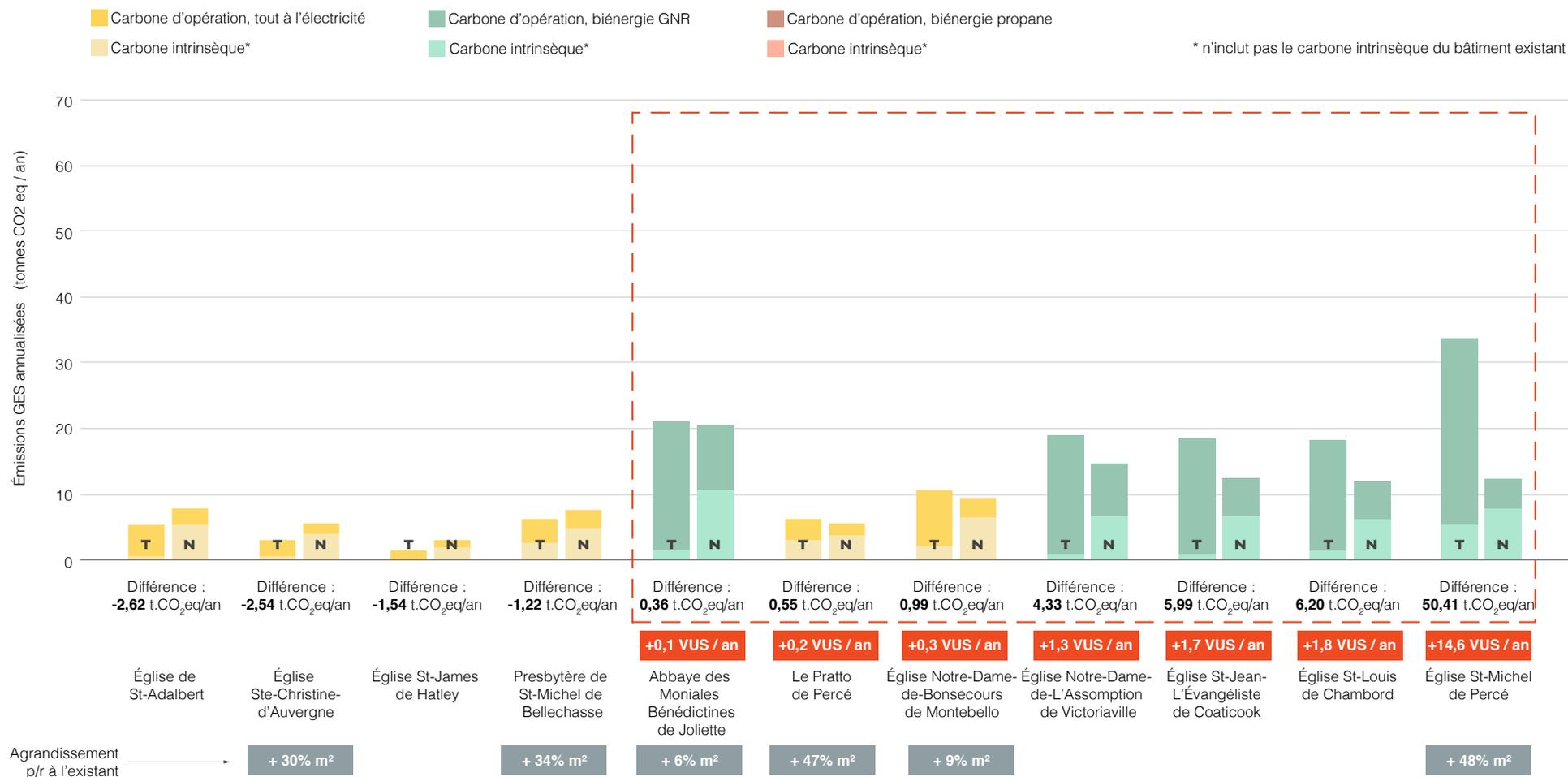
## ÉMISSIONS GES TOTALES annualisées

### Scénarios de transformations vs comparatifs neufs, sources d'énergie probables



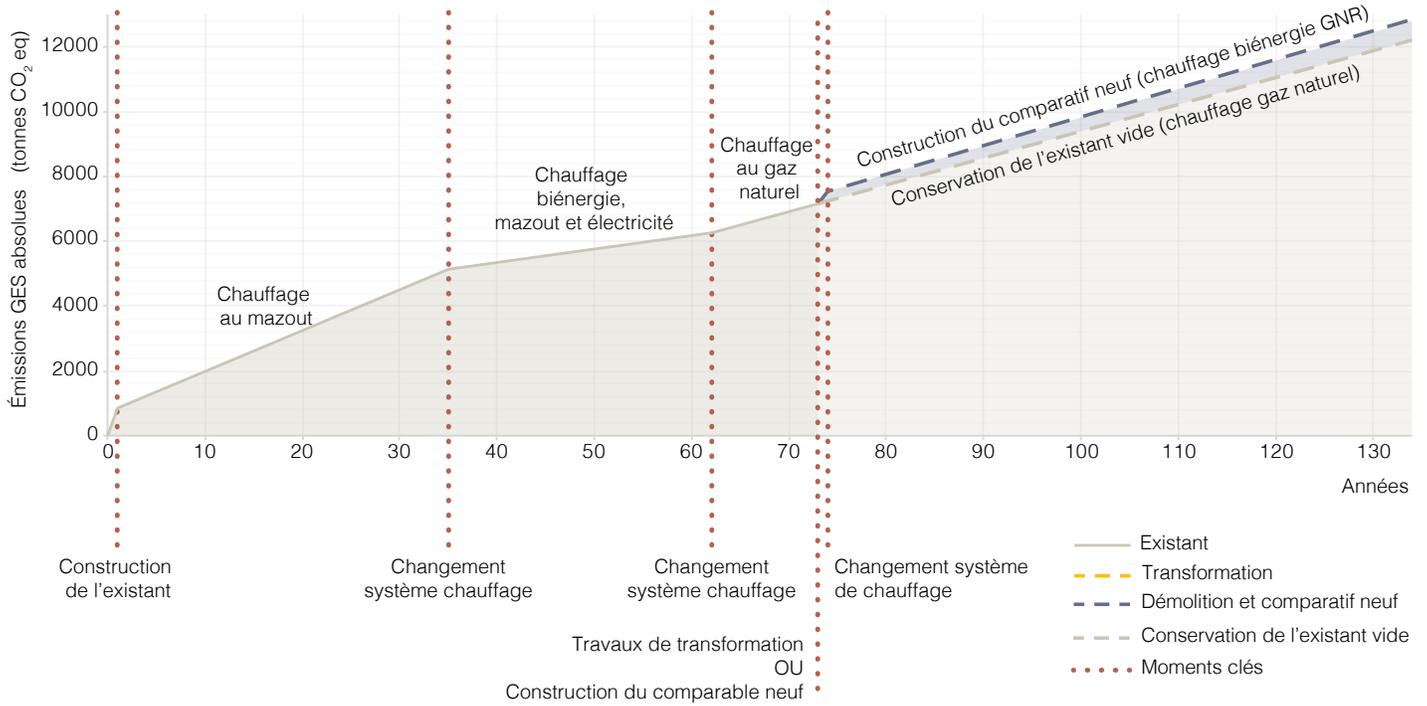
## ÉMISSIONS GES TOTALES annualisées

### Scénarios de transformations vs comparatifs neufs, sources d'énergie probables

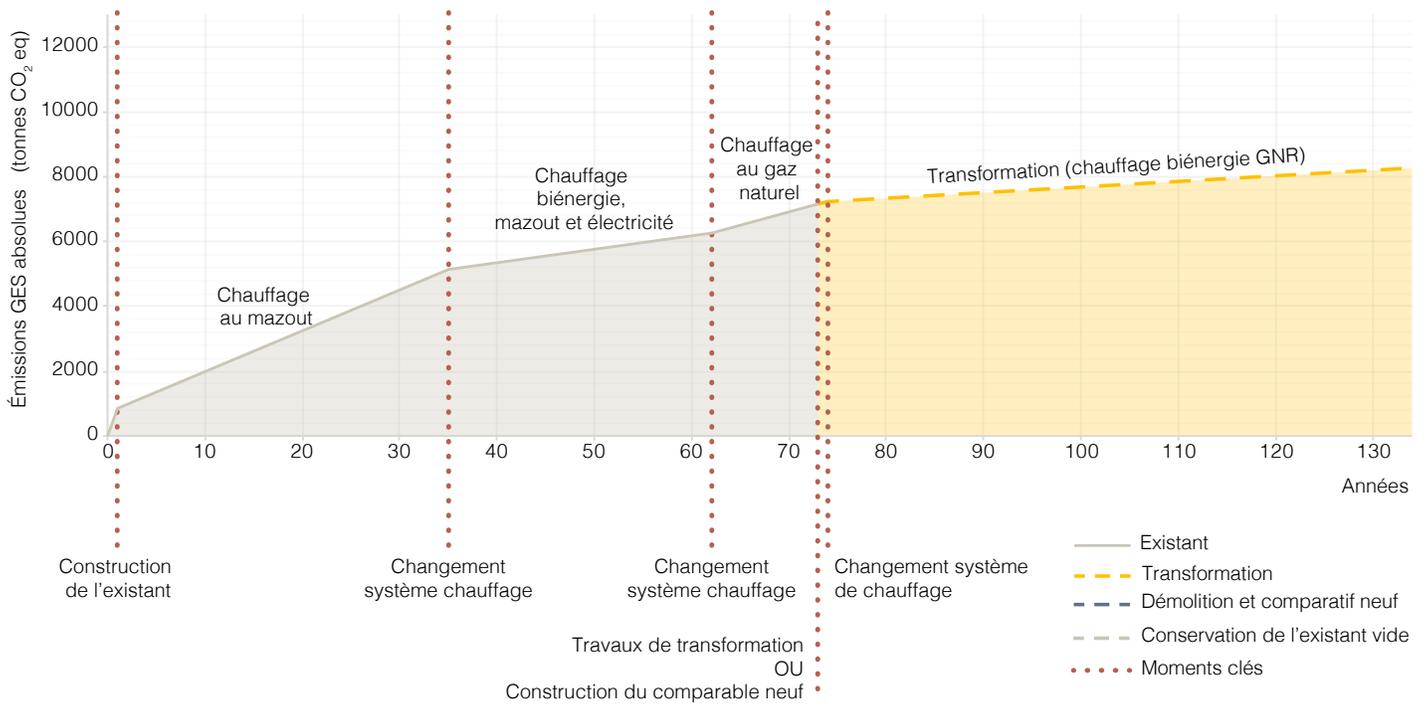


Aujourd'hui, un scénario commun est : la conservation de l'église, sous-utilisée ou même sans activité, en parallèle à la construction d'un nouvel édifice pour loger des activités communautaires et/ou culturelles. Nous avons illustré cette réalité à travers le cas de l'église St-Jean-L'Évangéliste de Coaticook, en supposant la continuation du système actuel, soit au gaz naturel. Les deux graphiques à la prochaine page démontrent qu'une transformation serait beaucoup plus gagnante en émissions GES que la conservation d'une coquille vide chauffée par des sources très émettrices et jumelée à la construction et l'opération d'une construction neuve. Il est évident que les bâtiments existants conservés ou transformés ne peuvent pas continuer à fonctionner avec des systèmes fortement émetteurs de GES.

## ÉMISSIONS GES ABSOLUES CUMULÉES Église St-Jean-L'Évangéliste de Coaticook (conservation + neuf)



## ÉMISSIONS GES ABSOLUES CUMULÉES Église St-Jean-L'Évangéliste de Coaticook (transformation)

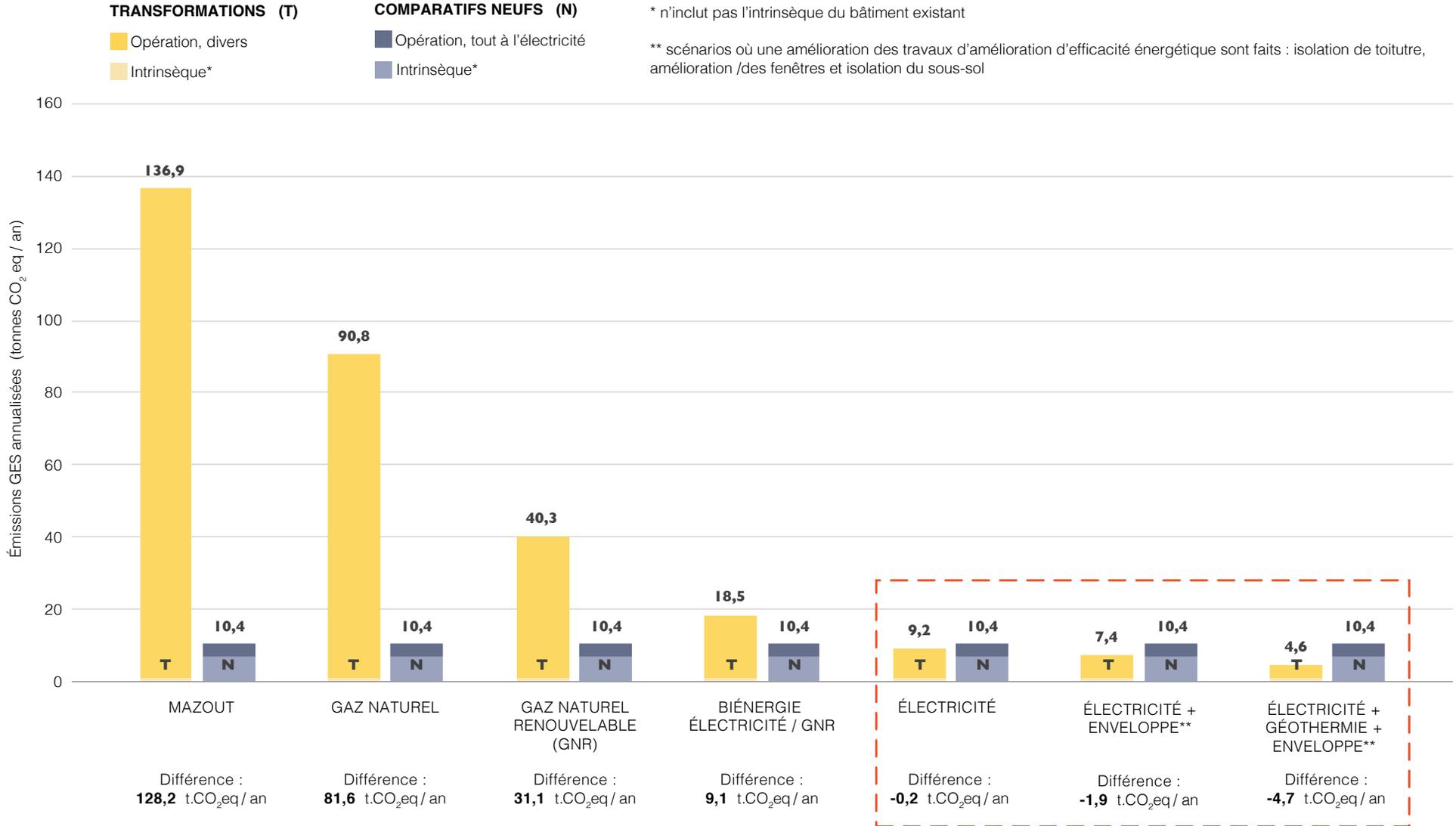


## Des alternatives pour les émissions GES d'opération

Quoique toute conception d'immeuble, requalifié ou neuf, doit bien considérer les choix de sources énergétiques, les transformations requièrent une attention particulière étant donné les sources d'énergies polluantes et les enveloppes moins performantes. Le graphique suivant montre la variation des émissions GES occasionnées en fonction des différentes stratégies d'approvisionnement énergétique envisageables pour la transformation de l'église Saint-Jean-L'Évangéliste de Coaticook. Dans ce graphique, chaque variation à la transformation est comparée aux émissions totales, intrinsèques et opérationnelles, de son comparatif neuf à l'électricité.

Les deux premiers scénarios démontrent le besoin évident de s'attarder aux changements de systèmes de chauffage encore dépendants de carburants fossiles lourds en GES, tels que le mazout et le gaz naturel. D'autre part, l'exercice démontre que la transformation peut être un choix plus sobre au niveau des émissions GES selon les sources d'énergie employées et les travaux d'amélioration de l'enveloppe entrepris (encadré pointillé rouge).

## ÉMISSIONS GES TOTALES annualées de Coaticook Comparaison de diverses sources d'énergie d'opération



## CONCLUSIONS ET OUVERTURE

Suite à l'interprétation des analyses de cycle de vie, nous pouvons observer que :

- Les comparatifs neufs modélisés ont une superficie et un volume moindre à chauffer que les immeubles existants. Cela s'explique par le fait qu'on ne construirait pas aujourd'hui un bâtiment ayant la forme d'une église pour loger un lieu multifonctionnel. L'isolation et l'étanchéité du bâtiment contemporain comparable sont également de loin supérieures.
- Dans les transformations, de manière générale, les émissions GES d'opération représentent la plus grande fraction du total sur un horizon de 60 ans, tandis que pour les comparatifs neufs, les émissions GES intrinsèques représentent la plus grande portion.
- Dans la majorité des cas modélisés où la source d'énergie envisagée pour le chauffage est 100% électrique, le scénario de transformation est moins émetteur de GES que le scénario démolition-construction.
- Lorsqu'on admet une proportion de gaz naturel renouvelable dans les opérations tant dans les bâtiments transformés que les comparatifs neufs (une situation probable dans la réalité), les scénarios démolition-construction sont généralement légèrement moins émetteurs de GES.
- Lorsqu'on modélise des améliorations à l'isolation et à l'étanchéité des immeubles anciens, on réduit les pertes thermiques et, par conséquent, la demande énergétique.
- Lorsqu'on modélise l'introduction de systèmes mécaniques à haut rendement, comme la géothermie, on améliore les performances énergétiques de sorte que le bilan GES de l'immeuble existant transformé peut se comparer avantageusement à celui d'un immeuble neuf équipé de manière conventionnelle.
- La transformation des bâtiments issus du patrimoine religieux concourt à la lutte aux changements climatiques dans la mesure où l'opération des immeubles repose sur une source d'énergie propre.

Pour requalifier les bâtiments issus du patrimoine religieux de manière cohérente avec la lutte aux changements climatiques, il faut :

- Réaliser que les requalifications présentent une opportunité unique d'effectuer des améliorations sur le plan constructif et mécanique ;
- Opter pour une source d'énergie propre et peu émettrice de gaz à effet de serre ;
- Adopter une approche sobre et créative au confort pour réduire la demande énergétique de bâtiments typiquement vastes et peu isolés ;
- Effectuer les travaux d'isolation et d'étanchéité envisageables en fonction de l'immeuble ;

- Miser sur des équipements mécaniques à haut rendement (préchauffage air, récupération de chaleur, géothermie et aérothermie, découplage du chauffage et de la ventilation, contrôles), et ;
- Faire un usage intensif des lieux.

Par ailleurs,

- La sous-utilisation des immeubles existants représente un gaspillage de ressources et de potentiel ;
- Le patrimoine bâti est une ressource non renouvelable et la démolition d'un bâtiment pouvant encore livrer un service équivaut à dilapider un actif immobilier, social et culturel ;
- La requalification des immeubles d'intérêt patrimonial constitue un levier pour favoriser la sobriété constructive, en misant sur les édifices existants plutôt que de construire neuf, lorsque pertinent ;
- La tendance actuelle à conserver les édifices patrimoniaux vides et chauffés en parallèle avec la construction d'infrastructures communautaires et culturelles neuves en périphérie des noyaux centraux est une avenue désavantageuse sur le plan social et environnemental ;
- Le choix de conserver et/ou de requalifier les bâtiments issus du patrimoine religieux découle d'une réflexion de plusieurs facteurs et nous devons développer des processus décisionnels pour choisir où nous allons concentrer nos ressources, et ;
- Nous devons adopter la pensée « cycle de vie » et adapter le cadre économique et réglementaire québécois afin de prolonger la durée de vie des immeubles existants, tous en s'assurant qu'ils logent les humains et les activités de manière fonctionnelle et confortable dans une économie post-carbone.

# BIBLIOGRAPHIE

Athena Sustainable Materials Institute, 2023. User Manual and Transparency Document Impact Estimator for Buildings v.5.5

[https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2023/12/IE4B\\_v5.5\\_User\\_Guide\\_Dec\\_2023.pdf](https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2023/12/IE4B_v5.5_User_Guide_Dec_2023.pdf)

Athena Sustainable Materials Institute, 2019. About Whole-building LCA and Embodied Carbon.

[https://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2019/09/About\\_WBLCA.pdf](https://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2019/09/About_WBLCA.pdf)

Athena Sustainable Materials Institute, 2024a. <https://www.athenasmi.org/resources/about-lca/whole-building-lca-faqs/>

Athena Sustainable Materials Institute, 2024b. Life cycle assessment is the compilation and evaluation of inputs, outputs and potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle (ISO 14040).

<http://www.athenasmi.org/resources/about-lca/technical-details/>

*Pour plus sur la méthodologie d'Athena :* <https://www.athenasmi.org/resources/publications/>

ASHRAE, 2016. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 : Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.

[https://upgreengrade.ir/admin\\_panel/assets/images/books/25223276727.pdf](https://upgreengrade.ir/admin_panel/assets/images/books/25223276727.pdf)

Berg, F. et Fuglseth, M. 2018. Life cycle assessment and historic buildings: energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway, *Journal of Architectural Conservation*, 24:2, 152-167

Bin, G. et Parker, P. 2012. Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House. *Applied Energy*, 93:24–32.

Carboneutre/LCL, 2023. Le poids de l'automobile. <https://www.carboneutre.ca/publications/le-poids-de-lautomobile/#:~:text=Ainsi%2C%20pour%20rouler%201000%20km,poids%20total%20du%20VUS%20utilis%C3%A9!>

Cecobois. 2024. Pourquoi construire en bois. <https://cecobois.com/pourquoi-construire-en-bois/>

CNRC, 2020. Code de construction du Québec, Chapitre I.1 – Efficacité énergétique du bâtiment, et Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2015 (modifié). <https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/td/?id=82cea204-fde9-4850-bddc-3a6dd52da207>

Hammond, G., Jones, C., 2011. Inventory of carbon & energy (ICE), version 2.0. University of Bath, R.-U.

Hammond, G., Jones, C., 2019. Inventory of carbon & energy (ICE), version 3.0. University of Bath, R.-U.

Iyer-Raniga, U. et Wong, J. 2012. Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia. *Building and Environment* 47. 138–149.

Ledoux, R., 2016. Histoire de pierre et d'une oasis de vie vieille de 450 millions d'années. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec.

Lucuik, M. et al. 2010. The Greenest Building Is the One That Is Never Built: A Life-Cycle Assessment Study of Embodied Effects for Historic Buildings.

MELCCFP [Ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs], 2022. Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre. Tableau 38. Intensité carbone (IC) des carburants ou combustibles produits ou distribués au Canada, exprimée en grammes d'équivalent CO<sub>2</sub> par MJ (page 83 du document, 92 du pdf) <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/guide-quantification/guide-quantification-ges.pdf>

TEQ [Transition énergétique Québec], 2022. Outil de calcul de la résistance thermique effective. Consulté en ligne : <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/residentiel/programmes/novoclimat-professionnels-construction/novoclimat-petit-batiment-multilogement/documents-techniques-formulaires>

One Click LCA, 2022. Average Quantities of Reinforcement in Concrete. Consulté en ligne : <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360020943800-Average-Quantities-of-Reinforcement-in-Concrete>

Répertoire du patrimoine culturel du Québec, s.d. Carrières Saint-Marc, consulté en ligne : <https://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=190938&type=bien>

US Department of Energy, 2012. *2011 Buildings Energy Data Book*. En ligne : <https://ieer.org/wp/wp-content/uploads/2012/03/DOE-2011-Buildings-Energy-DataBook-BEDB.pdf>

Ville de Québec, 1989. Guide technique #8 – Les crépis et les enduits. Québec.

Vitruve, édité par Perrault, 1852. De l'architecture. Collection Nizard, Paris.

Wikipédia, 2023. Brique (matériau), consulté en ligne : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique\\_\(matériau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_(matériau))

# ANNEXE

Tableau 1 : Coefficients carbone des matériaux des bâtiments existants

Tableau 2 : Coefficients carbone des sources énergétiques

Tableau 3 : Synthèse des usages, des nombres d'occupants, des superficies et des volumes

Tableau 4.1 : Synthèse des résultats (tout électrique)

Tableau 4.2 : Synthèse des émissions de l'existant

Tableau 4.3 : Variantes des périodes, principales charges énergétiques et consommations totales des bâtiments existants

Tableau 4.4 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 1)

Tableau 4.5 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 2)

Tableau 4.6 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 3)

Tableau 4.7 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 4)

Tableau 4.8 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 5)

Tableau 4.9 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 6)

Tableau 4.10 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 7)

Tableau 4.11 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 8)

Tableau 4.12 : Synthèse des émissions des transformations

Tableau 4.13 : Variantes modélisées, principales charges énergétiques et consommations totales des transformations

Tableau 4.14 : Calculs des émissions intrinsèques des transformations

Tableau 4.15 : Calculs des émissions d'opération des transformations (mazout)

Tableau 4.16 : Calculs des émissions d'opération des transformations (gaz naturel)

Tableau 4.17 : Calculs des émissions d'opération des transformations (biénergie)

Tableau 4.18 : Calculs des émissions d'opération des transformations (tout électrique)

Tableau 4.19 : Calculs des émissions d'opération des transformations (électrique + amélioration)

Tableau 4.20 : Calculs des émissions d'opération des transformations (électrique + amélioration + géothermie)

Tableau 4.21 : Synthèse des émissions des comparatifs neufs

Tableau 4.22 : Variantes modélisées, principales charges énergétiques et consommations totales des comparatifs neufs

Tableau 4.23 : Calculs des émissions intrinsèques des comparatifs neufs

Tableau 4.24 : Calculs des émissions d'opération des comparatifs neufs (tout électrique)

Tableau 4.25 : Calculs des émissions d'opération des comparatifs neufs (biénergie)

Si vous souhaitez plus d'informations sur notre méthodologie ou pour toute question, n'hésitez pas à nous contacter : [info@ecobatiment.org](mailto:info@ecobatiment.org) ou au 418-781-2463

Tableau I : Coefficients carbone des matériaux des bâtiments existants

Matériaux	Nom (base de données)	Coefficient (A1:A3)	Coefficients (A:C)	Coefficients (A:D)	ρ (kg/m³)	Coefficients harmonisés		Commentaires	Sources	Cellules co; Hex codes	
<b>Maçonnerie</b>											
Pierre (moellon)	Stone (General)	<b>0,08 kg CO2e/kg</b>			2500,00	197,50	kg CO2e/m³		Hammond G, Jones C, 2019. The ATHENA Sustainable	FFB9B9	
Pierre (parement)	Natural Stone (Cladding)	<b>11,80 kg CO2e/m²</b>	18,70 kg CO2e/m²	18,70 kg CO2e/m²		623,33	kg CO2e/m³			FF2929	
Béton	Concrete Benchmark CAN 30 MPa	292,00 kg CO2e/m³	361,00 kg CO2e/m³	<b>361,00 kg CO2e/m³</b>		361,00	kg CO2e/m³			FF7F7F	
Bloc de béton (CMU)	8" Nomal Weight Concrete Block	1,95 kg CO2e/u	4,75 kg CO2e/u	<b>4,75 kg CO2e/u</b>		283,07	kg CO2e/m³			FF9B9B	
Béton cellulaire	Carbocave CMU	<b>266,00 kg CO2e/m³</b>				266,00	kg CO2e/m³			FFA1A1	
Terrazzo	Terrazzo Tiles	<b>0,12 kg CO2e/kg</b>			2600,00	312,00	kg CO2e/m³			FF9090	
Brique d'argile	Ontario (Standard) Brick (ép : 102 mm)	25,30 kg CO2e/m²	32,50 kg CO2e/m²	<b>32,50 kg CO2e/m²</b>		318,63	kg CO2e/m³			FF8E8E	
Brique de béton	Concrete Brick	17,30 kg CO2e/m²	26,90 kg CO2e/m²	<b>26,90 kg CO2e/m²</b>		269,00	kg CO2e/m³			FFA0A0	
Terracotta	Clay (General)	<b>0,24 kg CO2e/kg</b>			1700,00	408,00	kg CO2e/m³			FF6E6E	
Mortier	Mortar	275,00 kg CO2e/m³	354 kg CO2e/m³	<b>354,00 kg CO2e/m³</b>		354,00	kg CO2e/m³			FF8181	
Fibrociment	Fiberciment	7,41 kg CO2e/m²	15,00 kg CO2e/m²	<b>15,00 kg CO2e/m²</b>		15,00	kg CO2e/m²	Mesuré en aire		FA2929	
Marbre	Marble	<b>0,13 kg CO2e/kg</b>			2700,00	351,00	kg CO2e/m³			FF8282	
Pierre de nivellement	Mineral Filler Crushed Stone	3,61 kg CO2e/t	21,80 kg CO2e/t	<b>21,80 kg CO2e/t</b>	2670,00	58,21	kg CO2e/m³			FFEBEB	
Gravier		3,76 kg CO2e/t	21,90 kg CO2e/t	<b>21,90 kg CO2e/t</b>	2670,00	58,47	kg CO2e/m³			FFEBEB	
<b>Bois</b>											
Bois d'œuvre	Lg Dimension Softwood Lumber, kiln-dried	35,50 kg CO2e/m³	102,00 kg CO2e/m³	<b>-247,00 kg CO2e/m³</b>		-247,00	kg CO2e/m³			The ATHENA Sustainable	FFFFFF
Lamellé-collé	GluLam sections	139,00 kg CO2e/m³	179,00 kg CO2e/m³	<b>-266,00 kg CO2e/m³</b>		-266,00	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	FFFFFF	
Contreplaqué	Softwood Plywood (9 mm)	1,90 kg CO2e/m²	4,44 kg CO2e/m²	<b>0,98 kg CO2e/m²</b>		108,67	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	FFD9D9	
Carton fibre	Timber, Fibreboard	<b>0,72 kg CO2e/kg</b>			0,25	0,18	kg CO2e/m²	Mesuré en aire	Hammond G, Jones C, 2019.	FFFFFF	
Carton fibre goudronné	Timber, Fibreboard	<b>0,72 kg CO2e/kg</b>			0,25	0,18	kg CO2e/m²	Mesuré en aire	Hammond G, Jones C, 2019.	FFFFFF	
Panneau aggloméré	Timber, Particle Board	<b>0,66 kg CO2e/kg</b>			650,00	431,60	kg CO2e/m³		Hammond G, Jones C, 2019.	FF6666	
<b>Métaux</b>											
Revêtement d'acier	Metal Roof Cladding - Commercial (24 Ga.)	37,40 kg CO2e/m²	40,50 kg CO2e/m²	<b>33,40 kg CO2e/m²</b>		33,40	kg CO2e/m²	Mesuré en aire	The ATHENA Sustainable	C01F1F	
Revêtement d'aluminium	Aluminium, North American (ép : 0,5 mm)	<b>5,65 kg CO2e/kg</b>			2700,00	7,63	kg CO2e/m²	Mesuré en aire	Hammond G, Jones C, 2019.	C01F1F	
Acier (armature béton)	Rebar, Rod, Light Sections	892,00 kg CO2e/t	935 kg CO2e/t	<b>1420,00 kg CO2e/t</b>	7800,00	7293,00	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	C52020	
Acier (structure)	Wide Flange Sections	934,00 kg CO2e/t	1010,00 kg CO2e/t	<b>1070,00 kg CO2e/t</b>	7800,00	7878,00	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	C01F1F	
Acier (colombage)	Galvanized Studs	2190,00 kg CO2e/t	2300,00 kg CO2e/t	<b>1470,00 kg CO2e/t</b>	7800,00	17940,00	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	691111	
Plomb (vitrail)	Lead (General)	<b>1,67 kg CO2e/kg</b>			11350,00	18954,50	kg CO2e/m³		Hammond G, Jones C, 2019.	601010	
<b>Isolants</b>											
Isolant rigide	Extruded polystyrene (25 mm)	3,45 kg CO2e/m²	5,98 kg CO2e/m²	<b>5,98 kg CO2e/m²</b>	48,46	239,20	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	FFAAAA	
Laine de verre	FG Batt R30 (25 mm)	0,04 kg CO2e/m²	2,37 kg CO2e/m²	<b>2,37 kg CO2e/m²</b>	10,61	94,80	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	FFDEDE	
Laine minérale	MW Batt R30 (25 mm)	1,04 kg CO2e/m²	3,50 kg CO2e/m²	<b>3,50 kg CO2e/m²</b>	52,06	140,00	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	FFCECE	
Vermiculite	Vermiculite (Expanded)	<b>0,52 kg CO2e/kg</b>			112,00	58,24	kg CO2e/m³			FFEBEB	
Polyuréthane giclé	Polyurethane Flexible Foam	<b>4,84 kg CO2e/kg</b>			505,00	2444,20	kg CO2e/m³			F02727	
<b>Autres</b>											
Gypse	1/2" Gypsum Fibre Gypsum Board	2,72 kg CO2e/m²	5,79 kg CO2e/m²	<b>5,79 kg CO2e/m²</b>		45,59	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	FFEFEF	
Verre (Athena)	Glazing Panel	1700,00 kg CO2/t	3190,00 kg CO2/t	<b>3190,00 kg CO2/t</b>	2500,00	7975,00	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	C01F1F	
PVC	PVC Window Frame	2,16 kg CO2e/kg	11,90 kg CO2e/kg	<b>11,90 kg CO2e/kg</b>	40,00	476,00	kg CO2e/m³		The ATHENA Sustainable	FF5656	
Membrane d'étanchéité	Polypropylene Scrim Kraft Vapour Retarder Cloth	0,09 kg CO2e/m²	2,41 kg CO2e/m²	<b>2,41 kg CO2e/m²</b>		2,41	kg CO2e/m²	Mesuré en aire	The ATHENA Sustainable	FFFFFF	
Bardeau d'asphalte	Organic Felt Shingles 25yr	1,98 kg CO2e/m²	11,70 kg CO2e/m²	<b>11,70 kg CO2e/m²</b>	11,00	11,70	kg CO2e/m²	Mesuré en aire	The ATHENA Sustainable	FFFBFB	
Enduit, plâtre	General (Gypsum)	<b>0,13 kg CO2e/kg</b>			1100,00	143,00	kg CO2e/m³		Hammond G, Jones C, 2019.	FFCCCC	

## Tableau 2 : Coefficients carbone des sources énergétiques

Source énergétique	Coefficient	Unité	Source et détails
Mazout	0,000 077 53	t CO <sub>2</sub> eq / MJ	coefficient diesel selon Athena. Selon le <i>Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre</i> (MELCCFP, 2022), le mazout et le diesel ont des coefficients très similaires. Comme Athena n'a pas le mazout, nous avons opté pour prendre le coefficient diesel d'Athena.
Propane	0,000 072 45	t CO <sub>2</sub> eq / MJ	coefficient "LPG" ( <i>liquid petroleum gas</i> ) selon Athena, contenant essentiellement du propane et butane.
Gaz naturel	0,000 061 78	t CO <sub>2</sub> eq / MJ	coefficient selon Athena.
Gaz naturel renouvelable	0,000 026 30	t CO <sub>2</sub> eq / MJ	coefficient selon MELCCFP, puisque c'est indisponible sur Athena. Le MELCCFP offre deux options de valeurs significatives différentes; nous avons employé le GNR de digestion anaérobie de matière organique, plus émetteur, plutôt que le GNR d'enfouissement, puisque le type de GNR disponible sur le réseau québécois est en évolution et pour être plus conservateur dans notre analyse.
Charbon	0,000 100 00	t CO <sub>2</sub> eq / MJ	coefficient selon MELCCFP, puisque c'est indisponible sur Athena.
Électricité	0,000 018 83	t CO <sub>2</sub> eq / kWh	coefficient selon Athena. Nous avons comparé plusieurs sources pour le coefficient d'électricité. Hydro-Québec publie un facteur qui serait considéré de niveau 2 pour des acheteurs d'électricité ainsi qu'un facteur de cycle de vie. Le coefficient d'Athena se retrouvait entre ces valeurs.
Bois	0,000 006 90	t CO <sub>2</sub> eq / MJ	coefficient "bois rond non marchand, base sèche" selon MELCCFP, puisque c'est indisponible sur Athena.

Tableau 3 : Synthèse des usages, des nombre d'occupants, des superficies et des volumes

	Usages principaux	Alternatives d'aménagement	Nombre d'occupants		Superficies brutes (m <sup>2</sup> )							
			Transformation	Comparatif neuf	Existant actuel (m <sup>2</sup> )	Existant transformé (m <sup>2</sup> )	Agrandissement seulement (m <sup>2</sup> )	Rapport entre agrandissement et l'existant	Tous ajouts (nouveaux d'étages + agrandi.) (m <sup>2</sup> )	Totale transformation (m <sup>2</sup> )	Comparatif neuf (m <sup>2</sup> )	Rapport entre le comparatif neuf et la transformation
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	Hall multifonctionnel, résidences pour artistes, ateliers, expositions		114	181	902,5	810,0	277,9	34%	277,9	1087,8	1180,1	108%
<b>2 Église St-James Hatley</b>	Salle multifonctionnelle, église		197	193	273,2	273,2	0,0	0%	0,0	273,2	315,5	115%
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	Biblio flexible en salle de réception / spectacle, petit commerce, mur d'escalade	biblio	155	166	692,9	554,6	164,5	30%	308,9	863,5	799,4	93%
		banquet	152	224								
		spectacle (4x/an)	220	349								
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	Salle de spectacle / multi		445	445	2536,0	2536,0	239,5	9%	239,5	2775,6	1458,9	53%
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>					1645,4	1645,4	786,1	48%	786,1	2431,5	1762,2	72%
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines, Joliette</b>	Studio de création, salle polyvalente, expositions, restaurant, ateliers, résidences d'artistes		534	606	4517,6	4305,0	249,4	6%	249,4	4554,4	3293,2	72%
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	Bibliothèque et salles de conférence		283	297	520,9	476,6	222,4	47%	436,9	913,6	990,9	108%
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	Bibliothèque, friperie, agora, maison des jeunes, locaux pour organisme, club de pétanque		439	632	2029,1	2029,1	0,0	0%	400,4	2429,5	1667,6	69%
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	Maison de la famille, halte-garderie, bureaux d'organisme, cadets		445	517	2278,8	2278,8	0,0	0%	211,0	2489,8	1862,0	75%
<b>10 Église St-Adalbert</b>	Depanneur, parc intérieur, café, garderie, espace jeunes	parc intérieur	110	163	961,9	961,9	0,0	0%	78,2	1040,1	1157,9	111%
		banquet	196	196								
		chaises	233	233								
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	Agriculture verticale, espace polyvalent, ateliers de fabrication et réparation, bureaux		290	231	3114,5	3114,5	0,0	0%	323,8	3438,3	3238,0	94%

	Volume (grossièrement calculé)					
	Existant (m <sup>3</sup> )	Agrandissement (m <sup>3</sup> )	Transformation totale (m <sup>3</sup> )	Rapport entre la superficie et volume de transformation (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )	Comparatif neuf (m <sup>3</sup> )	Rapport entre la superficie et volume de comparatif neuf (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	2256,4	2350,8	4607,1	4,2	3540,2	3,0
<b>2 Église St-James Hatley</b>	1479,8	0,0	1479,8	5,4	1418,3	4,5
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	4436,6	361,9	4798,5	5,6	2991,4	3,7
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	19099,6	2345,1	21444,7	7,7	6847,2	4,7
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>					5815,5	3,3
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines, Joliette</b>	16468,5	9681,7	26150,1	5,7	7290,2	2,2
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	10744,4	9944,9	20689,2	22,6	3167,9	3,2
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	19317,5	0,0	19317,5	8,0	4924,8	3,0
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	16952,3	0,0	16952,3	6,8	5027,5	2,7
<b>10 Église St-Adalbert</b>	5185,6	0,0	5185,6	5,0	5130,0	4,4
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	18766,0	0,0	18766,0	5,5	6224,4	1,9

Tableau 4.1 : Synthèse des résultats (tout électrique)

	EXISTANT					TRANSFORMATION				COMPARATIF NEUF			
	Intrinsèque	Opération - Passé				Intrinsèque		Opération - Tout électrique		Intrinsèque		Opération - Tout électrique	
		Intrinsèque (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Nb années	TOTAL OP / op/an/m <sup>2</sup> an	TOTAL absolu OP	Intrinsèque annualisé sans recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Intrinsèque total sans recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération tout él annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération tout él tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Intrinsèque annualisé (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Intrinsèque total (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération tout él annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération tout él tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	93	283	8,10	0,01	2 292	2,55	153,12	3,76	225,37	4,9	296,0	2,59	155,46
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	10	195	3,64	0,01	709	0,00	0,00	1,38	83,02	2,0	118,5	0,95	57,13
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	84	129	16,70	0,02	2 155	0,45	26,98	2,62	157,30	4,0	237,2	1,65	99,28
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	388	127	102,09	0,04	12 966	2,00	120,14	8,52	511,47	6,4	386,7	3,09	185,45
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	494	120	162,94	0,10	19 552	5,36	321,84	12,90	774,18	7,8	466,7	2,93	175,99
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	703	116	158,42	0,04	18 376	1,52	91,33	10,24	614,34	10,7	640,5	6,32	379,44
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	69	111	23,81	0,05	2 643	2,93	175,55	3,22	193,00	3,6	217,4	1,97	118,40
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	894	94	110,74	0,05	10 410	1,37	82,06	7,99	479,11	6,3	376,4	3,41	204,55
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	838	72	87,81	0,04	6 322	0,91	54,76	8,24	494,36	6,7	402,9	3,71	222,49
<b>10 Église St-Adalbert</b>	326	67	19,98	0,02	1 338	0,52	31,37	4,76	285,85	5,4	322,2	2,53	152,06
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	633	59	76,06	0,02	4 488	0,90	54,17	9,11	546,73	6,7	401,5	5,36	321,41

Tableau 4.2 : Synthèse des émissions de l'existant

EXISTANT													
Intrinsèque		Opération											
		Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5	Période 6	Période 7	Période 8	Total opération passé			
Intrinsèque (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Nb années	Opération période 1 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération période 2 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération période 3 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération période 4 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération période 5 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération période 6 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération période 7 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération période 8 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	TOTAL OP / op/an/m2 an	TOTAL absolu OP		
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	93	283	28	47	31	1213	96	623	248	7	8,10	0,01	2 292
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	10	195	72	638	0						3,64	0,01	709
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	84	129	20	17	2 117						16,70	0,02	2 155
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	388	127	5 182	3 147	3 347	1269	21				102,09	0,04	12 966
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	494	120	9 032	10 520							162,94	0,10	19 552
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	703	116	681	1 568	5 344	2259	5525	2999			158,42	0,04	18 376
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	69	111	1 086	1 557	0						23,81	0,05	2 643
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	894	94	3 901	3 776	673	2060					110,74	0,05	10 410
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	838	72	4 278	1 135	909						87,81	0,04	6 322
<b>10 Église St-Adalbert</b>	326	67	94	1 245							19,98	0,02	1 338
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	633	59	2 693	1 458	337						76,06	0,02	4 488

Tableau 4.3 : Variantes des périodes, principales charges énergétiques et consommations totales des bâtiments existants

		Début période	Fin période	Durée période	Modification sur l'enveloppe	Type d'énergie pour le chauffage	Efficacité du système de chauffage	Point de consigne (°C)	Pertes thermiques de l'enveloppe (kWh)	Électricité éclairage (kWh)	Consommation totale électricité (kWh)	Consommation totale bois (kWh)	Consommation totale énergie fossile (kWh)
1	Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	1740	1790	50		Bois	65%	17	55 462	0	0	85 326	0
		1790	1854	64	Ajout 25 pieds à l'est	Bois	65%	17	73 112	0	0	112 480	0
		1854	1912	58	Nouveau toit et revêtement	Bois	65%	17	52 125	0	0	80 193	0
		1912	1954	42		Charbon	65%	17	52 125	0	0	0	80 193
		1954	1958	4		Mazout	70%	18	62 498	2 714	4 077	0	85 499
		1958	1985	27	Isolation entretoit	Mazout	70%	18	60 319	2 714	4 077	0	82 387
		1985	2017	32		Biénergie électricité/mazout	100%/70%	18	60 319	2 714	44 447	0	24 716
		2017	2023	6		Électricité	100%	18	60 319	2 714	61 748	0	
2	Église St-James de North Hatley	1828	1987	159		Bois	65%	17	44 437	0	0	68 364	0
		1987	2017	30	Mur de fondation ajouté	Mazout	70%	18	54 910	1 167	2 785	0	75 955
		2017	2023	6		Non chauffé	-	-	0	0	0	0	0
3	Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	1894	1922	28		Bois	65%	17	69 940	0	0	107 601	0
		1922	1949	27	Nouvelle nef	Bois	65%	17	63 563	0	0	97 790	0
		1949	2023	74		Mazout	70%	18	76 611	2 961	7 396	0	102 016
4	Église ND de Bonsecours de Montebello	1896	1932	36		Charbon	65%	17	259 884		0	0	399 823
		1932	1955	23	Agrand. nef et isolation	Charbon	65%	17	247 052		0	0	380 080
		1955	1985	30		Mazout	70%	18	286 835	10 828	12 143	0	398 930
		1985	2019	34		Biénergie électricité/mazout	100%/70%	18	286 835	10 828	207 619	0	119 679
		2019	2023	4	Isolation partielle murs	Électricité	100%	18	274 908	10 828	278 975	0	0
5	Église St-Michel de Percé	1903	1955	52		Charbon	65%	17	313 626	0	0	0	482 502
		1955	2023	68		Mazout	70%	18	395 259	7 027	9 241	0	553 655
6	Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	1907	1913	6	Partie centrale	Charbon	65%	17	204 982	0	0	0	315 357
		1913	1924	11	Aile sud	Charbon	65%	17	257 309	0	0	0	395 861
		1924	1947	23	Aile nord	Charbon	65%	17	419 531	0	0	0	645 432
		1947	1959	12	Isolation centre et sud	Charbon	65%	17	339 907	0	0	0	522 934
		1959	1995	36	Annexe arrière	Mazout	70%	18	397 344	19 288	20 656	0	548 447
		1995	2023	28		Gaz	85%	18	397 344	19 228	20 656	0	479 891
7	Le Pratto, Percé	1912	1940	28		Charbon	65%	17	70 022	0	0	0	107 725
		1940	1985	45		Mazout	70%	18	89 893	2 225	3 977	0	123 682
		1985	2023	38		Non chauffé	-	-	0	0	0	0	0
8	Église St-Louis de Chambord	1929	1955	26		Charbon	65%	17	270 899		0	0	416 768
		1955	1985	30		Mazout	70%	18	322 903	8 664	10 253	0	450 223
		1985	2001	16		Biénergie électricité/mazout	100%/70%	18	322 903	8 664	230 862	0	135 067
		2001	2023	22		Gaz	75%	18	322 903	8 664	10 253	0	420 208
9	Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	1951	1985	34		Mazout	70%	18	321 953	9 732	11 047	0	450 062
		1985	2012	27		Biénergie électricité/mazout	100%/70%	18	321 953	9 732	231 577	0	135 019
		2012	2023	11		Gaz	85%	18	321 953	9 732	11 047	0	370 639
10	Église St-Adalbert	1949	1992	43		Bois	65%	18	199 385	4 109	5 525	301 017	0
		1992	2023	31		50% mazout, 50% bois	70%/65%	18	199 385	4 109	5 525	150 509	139 759
11	Église ND de l'Assomption de Victoriaville	1964	1985	21		Mazout	70%	18	331 702	13 305	14 841	0	458 374
		1985	2019	34		Biénergie électricité/mazout	100%/70%	18	331 702	13 305	239 444	0	137 512
		2019	2023	4		Gaz	85%	18	331 702	13 305	14 841	0	377 484

Tableau 4.4 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période I)

EXISTANT														
Opération														
PÉRIODE 1														
	kWh electricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	kWh mazout/an	MJ mazout / an	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	kWh charbon /an	MJ charbon / an	Facteur charbon (t CO <sub>2</sub> eq / kWh)	kWh bois / an	facteur bois (tonnes CO <sub>2</sub> eq/ kWh)	tonnes CO <sub>2</sub> / an (lorsque juste bois) RET Screen	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 1 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>											0,56	50	0,56	28
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>											0,45	159	0,45	72
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>											0,71	28	0,71	20
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>						399 823	1 439 363	0,00010				36	143,94	5 182
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>						482 502	1 737 007	0,00010				52	173,70	9 032
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>						315 357	1 135 285	0,00010				6	113,53	681
<b>7 Le Pratto, Percé</b>						107 725	387 810	0,00010				28	38,78	1 086
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>						416 768	1 500 365	0,00010				26	150,04	3 901
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	11 047	0,0000188	450 062	1 620 223	0,0000775							34	125,82	4 278
<b>10 Église St-Adalbert</b>	5 525	0,0000188							301 017	0,0000069		43	2,18	94
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	14 841	0,0000188	458 374	1 650 146	0,0000775							21	128,22	2 693

Tableau 4.5 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 2)

EXISTANT														
Opération														
PÉRIODE 2														
	kWh electricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	kWh mazout/an	MJ mazout / an	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	kWh charbon /an	MJ charbon / an	Facteur charbon (t CO <sub>2</sub> eq / kWh)	kWh bois / an	facteur bois (tonnes CO <sub>2</sub> eq/ kWh)	tonnes CO <sub>2</sub> / an (lorsque juste bois) RET Screen	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 2 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>											0,74	64	0,74	47
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	2 785	0,0000188	75 955	273 438	0,0000775							30	21,25	638
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>											0,64	27	0,64	17
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>						380 080	1 368 288	0,0001000				23	136,83	3 147
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	9 241	0,0000188	553 655	1 993 158	0,0000775							68	154,70	10 520
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>						395 861	1 425 100	0,0001000				11	142,51	1 568
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	3 977	0,0000188	123 682	445 255	7,753E-05							45	34,60	1 557
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	10 253	0,0000188	450 223	1 620 803	0,0000775							30	125,85	3 776
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	231 577	0,0000188	135 019	486 068	0,0000775							27	42,05	1 135
<b>10 Église St-Adalbert</b>	5 525	0,0000188	139 759	503 132	0,0000775				150 509	0,0000069		31	40,15	1 245
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	239 444	0,0000188	137 512	495 043	0,0000775							34	42,89	1 458

Tableau 4.6 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 3)

EXISTANT															
Opération															
PÉRIODE 3															
	kWh électricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	kWh mazout/an	MJ mazout / an	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	kWh charbon /an	MJ charbon / an	Facteur charbon (t CO <sub>2</sub> eq / kWh)	kWh gaz /an	MJ gaz naturel / an	Facteur gaz naturel (t CO <sub>2</sub> eq / MJ)	tonnes CO <sub>2</sub> / an (lorsque juste bois) RET Screen	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 3 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>												0,53	58	0,53	31
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>													6	0,00	0
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	7 396	0,0000188	102 016	367 258	0,0000775								74	28,61	2 117
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	12 143	0,0000188	398 930	1 436 148	0,0000775								30	111,57	3 347
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>															
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>						645 432	2 323 555	0,000100					23	232,36	5 344
<b>7 Le Pratto, Percé</b>													38	0,00	0
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	230 862	0,0000188	135 067	486 241	0,0000775								16	42,05	673
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	11 047	0,0000188							370 639	1 334 300	0,0000618		11	82,64	909
<b>10 Église St-Adalbert</b>													0		
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	14 841	0,0000188							377 484	1 358 942	0,0000618		4	84	337

Tableau 4.7 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 4)

EXISTANT														
Opération														
PÉRIODE 4														
	kWh electricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	kWh mazout/an	MJ mazout / an	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	kWh charbon /an	MJ charbon / an	Facteur charbon (t CO <sub>2</sub> eq / kWh)	kWh gaz /an	MJ gaz naturel / an	Facteur gaz naturel (t CO <sub>2</sub> eq / kWh)	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 4 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>						80 193	288 695	0,000100				42	28,87	1213
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>												0		
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>												0		
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	207 619	0,0000188	119679	430844,40	0,0000775							34	37,31	1269
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>														
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>						522 934	1 882 562	0,000100				12	188,26	2259
<b>7 Le Pratto, Percé</b>												0		
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	10 253	0,0000188							420 208	1 512 749	0,0000618	22	93,65	2060
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>												0		
<b>10 Église St-Adalbert</b>												0		
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>												0		

Tableau 4.8 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 5)

EXISTANT								
Opération								
PÉRIODE 5								
	kWh electricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	kWh mazout/an	MJ mazout / an	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 5 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	4 077	0,0000188	85 499	307 796	0,0000775	4	23,94	96
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>						0		
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>						0		
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	278 975	0,0000188				4	5,25	21
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>								
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	20 656	0,0000188	548 447	1 974 409	0,0000775	36	153,46	5525
<b>7 Le Pratto, Percé</b>						0		
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>						0		
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>						0		
<b>10 Église St-Adalbert</b>						0		
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>						0		

Tableau 4.9 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 6)

EXISTANT											
Opération											
PÉRIODE 6											
	kWh electricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	kWh mazout/an	MJ mazout / an	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	kWh gaz /an	MJ gaz naturel / an	Facteur gaz naturel (t CO <sub>2</sub> eq / kWh)	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 6 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	4 077	0,0000188	82 387	296 593	0,0000775				27	23,07	623
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>									0		
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>									0		
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>									0		
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>									0		
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	20 656	0,0000188				479891,00	1727607,60	0,0000618	28	107,12	2999
<b>7 Le Pratto, Percé</b>									0		
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>									0		
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>									0		
<b>10 Église St-Adalbert</b>									0		
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>									0		

Tableau 4.10 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 7)

EXISTANT								
Opération								
PÉRIODE 7								
	kWh electricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	kWh mazout/an	MJ mazout / an	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 7 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	44 447	0,0000188	24 716	88 978	0,0000775	32	7,74	248
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>						0		
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>						0		
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>						0		
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>						0		
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>						0		
<b>7 Le Pratto, Percé</b>						0		
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>						0		
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>						0		
<b>10 Église St-Adalbert</b>						0		
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>						0		

Tableau 4.11 : Calculs des émissions d'opération des bâtiments existants (Période 8)

EXISTANT					
Opération					
PÉRIODE 8					
	kWh electricité / an	facteur électricité (tonnes CO <sub>2</sub> eq/kWh)	Nb années	tonnes CO <sub>2</sub> / an (toutes énergies)	Opération période 8 (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	61 748	0,0000188	6	1,16	7
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>			0		
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>			0		
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>			0		
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>					
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>			0		
<b>7 Le Pratto, Percé</b>			0		
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>			0		
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>			0		
<b>10 Église St-Adalbert</b>			0		
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>			0		

Tableau 4.12 : Synthèse des émissions des transformations

TRANSFORMATION																		
Intrinsèque		Opération - Mazout		Opération - Gaz nat (pas biénergie)				Opération - Biénergie Gaz nat				Opération - Tout électrique		Opération - Électricité + amélioration efficacité toit/fen/ss		Opération - ÉI + eff. + géothermie		
Intrinsèque annualisé sans recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Intrinsèque total sans recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	ÉI + mazout		ÉI + gaz naturel standard		ÉI + gaz naturel renouvelable		ÉI. + GN std. (église-percé :propane)		ÉI. + Gaz naturel renouvelable		Opération tout él annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération tout él tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Opération él + eff annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération él + eff (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Opération él + eff + géothermie annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération él + eff + géothermie (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	
		Opération mazout annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération mazout tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Opération GN std annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération GN std tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Opération GNR annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération GNR tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Opération bi-é gaz nat std. annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération bi-é gaz nat std. (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Opération bi-é gaz nat ren. annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération bi-é gaz nat ren. (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)							
1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	2,55	153,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,76	225,37	-	-	-	-	
2 Église St-James de North Hatley	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,38	83,02	-	-	-	-	
3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	0,45	26,98	-	-	-	-	-	9,07	544,29	5,08	304,81	2,62	157,30	-	-	-	-	
4 Église ND de Bonsecours de Montebello	2,00	120,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,52	511,47	7,58	454,74	-	-	
5 Église St-Michel de Percé	5,36	321,84	-	-	-	-	-	60,72	3 642,96	-	-	12,90	774,18	10,27	615,99	-	-	
6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	1,52	91,33	-	-	-	-	-	34,41	2 064,42	19,45	1 167,06	10,24	614,34	-	-	-	-	
7 Le Pratto, Percé	2,93	175,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,22	193,00	-	-	-	-	
8 Église St-Louis de Chambord	1,37	82,06	-	-	-	-	-	31,14	1 868,31	16,81	1 008,63	7,99	479,11	-	-	-	-	
9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	0,91	54,76	136,00	8 159,84	89,90	5 394,07	39,37	2 361,96	32,74	1 964,27	17,58	1 054,64	8,24	494,36	6,49	389,39	3,67	219,94
10 Église St-Adalbert	0,52	31,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,76	285,85	-	-	-	-	
11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville	0,90	54,17	-	-	-	-	-	32,64	1 958,26	18,08	1 084,75	9,11	546,73	-	-	-	-	

Tableau 4.13 : Variantes modélisées, principales charges énergétiques et consommations totales des transformations

	Modification sur l'enveloppe	Type d'énergie pour le chauffage	Efficacité du système de chauffage	Ventilation, air neuf (cfm)	Détails ventilation	Pertes thermiques de l'enveloppe (kWh)	Chaleur requise pour air neuf (kWh)	Électricité pour moteurs ventilation (kWh)	Électricité éclairage (kWh)	Consommation totale électricité (kWh)	Consommation totale énergie fossile (kWh)
1	Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	Électricité	100%	2 508		154 506	27 985	10 994	17 152	199 461	0
2	Église St-James de North Hatley	Électricité	100%	741	2/3 débit calculé	60 954	7 888	3 246	4 310	73 475	0
3	Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	Électricité	100%	2 239	2/3 débit calculé	100 040	26 552	9 636	13 613	139 217	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	2 239	2/3 débit calculé	100 040	26 552	9 636	13 613	112 656	31 249
4	Église ND de Bonsecours de Montebello	Électricité	100%	3 287	2/3 débit calculé	381 413	36 922	14 410	43 765	452 661	0
		Améliora. toiture, fenêtres Électricité	100%	3 287	2/3 débit calculé	331 206	36 922	14 410	43 765	402 454	0
5	Église St-Michel de Percé	Électricité	100%	4 942	1/2 débit calculé	596 827	63 242	21 462	38 351	685 166	0
		Biénergie électricité/propane	100%/85%	4 942	1/2 débit calculé	596 827	63 242	21 462	38 351	519 158	195 304
		Améliora. toiture, fenêtres Électricité	100%	4 942	1/2 débit calculé	456 821	63 242	21 462	38 351	545 160	0
6	Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	Électricité	100%	7 828		384 872	97 128	34 295	71 814	543 704	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	7 828		384 872	97 128	34 295	71 814	444 176	117 092
7	Le Pratto, Percé	Électricité	100%	2 784		123 486	35 626	12 194	14 419	170 808	0
8	Église St-Louis de Chambord	Électricité	100%	3 260		353 590	45 443	14 279	38 299	424 025	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	3 260		353 590	45 443	14 279	38 299	328 675	112 176
9	Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	Électricité	100%	3 854		365 092	41 027	15 934	35 934	437 515	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	3 854		365 092	41 027	15 934	35 934	336 626	118 694
		Gaz	85%	3 854		365 092	41 027	15 934	35 934	101 216	395 647
		Mazout	70%	3 854		365 092	41 027	15 934	35 934	101 216	480 428
		Améliora. toit, fenêt., s-sol Électricité	100%	3 854		272 192	41 027	15 934	35 934	344 616	0
		Améliora. toit, fenêt., s-sol Géothermie/Électricité	300%/100%	3 854		272 192	41 027	15 934	35 934	194 647	0
10	Église St-Adalbert	Électricité	100%	1 302		225 504	15 011	5 694	16 399	252 980	0
11	Église ND de l'Assomption de Victoriaville	Électricité	100%	5 974		370 531	72 587	26 280	54 207	483 863	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	5 974		370 531	72 587	26 280	54 207	386 980	113 980

Tableau 4.14 : Calculs des émissions intrinsèques des transformations

	TRANSFORMATION							
	Intrinsèque							
	INTR Production des matériaux (A1 à A3)	INTR Construction du bâtiment (A4 et A5)	INTR Utilisation (B2 et B4)	INTR Fin de vie (C1 à C4)	INTR Au-delà du cycle de vie (D)	Intrinsèque total avec recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Intrinsèque annualisé sans recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Intrinsèque total sans recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	117,84	9,29	14,27	11,71	-38,05	115,07	2,55	153,12
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	6,28	3,10	2,41	15,18	-3,70	23,27	0,45	26,98
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	93,55	8,44	8,96	9,18	-0,59	119,55	2,00	120,14
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	245,84	26,08	23,95	25,97	-28,41	293,43	5,36	321,84
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	70,17	4,43	9,23	7,48	-26,21	65,11	1,52	91,33
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	119,42	21,03	6,97	28,12	19,09	194,64	2,93	175,55
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	63,77	6,11	3,74	8,44	-9,96	72,10	1,37	82,06
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	40,10	2,85	5,03	6,79	-31,55	23,21	0,91	54,76
<b>10 Église St-Adalbert</b>	25,11	1,55	2,03	2,67	-0,21	31,16	0,52	31,37
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	44,89	4,09	0,37	4,82	-6,36	47,81	0,90	54,17

Tableau 4.15 : Calculs des émissions d'opération des transformations (mazout)

TRANSFORMATION										
Opération - Mazout										
	Portion électrique			Portion Mazout				ÉI + mazout		
	kWh ÉLECTRICITÉ par an (kWh/an)	facteur électricité tonnes CO <sub>2</sub> eq / kWh / an	OP ÉLECTRICITÉ tonnes CO <sub>2</sub> eq / an	kWh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (kWh/an)	kWh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (MJ/an)	facteur Mazout (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	OP Mazout tonnes CO <sub>2</sub> eq / an	COMPARATIF RET SCREEN tonnes CO <sub>2</sub> eq/an	Opération mazout annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération mazout tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 Église St-James de North Hatley	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 Église ND de Bonsecours de Montebello	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Église St-Michel de Percé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Le Pratto, Percé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 Église St-Louis de Chambord	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	101 216,00	0,00001883	1,91	480 428,00	1 729 540,80	0,0000775	134,09	123,00	136,00	8 159,84
10 Église St-Adalbert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 4.16 : Calculs des émissions d'opération des transformations (gaz naturel)

TRANSFORMATION															
Opération - Gaz nat (pas biénergie)															
	Portion électrique			Portion combustible fossile		ÉI + gaz naturel standard					ÉI + gaz naturel renouvelable				
	kWh ÉLECTRICITÉ par an (kWh/an)	facteur électricité tonnes CO2eq / kWh / an	OP ÉLECTRICITÉ tonnes CO2eq / an	kwh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (kWh/an)	kwh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (MJ/an)	facteur GN std. (tonnes CO2eq/MJ)	OP GN std. tonnes CO2eq / an	COMPARATIF RET SCREEN tonnes CO2eq/an	Opération GN std annualisée (tonnes CO2eq / an)	Opération GN std tot (tonnes CO2eq pour 60 ans)	facteur GNR (tonnes CO2eq/MJ)	OP GNR tonnes CO2eq / an	COMPARATIF RET SCREEN tonnes CO2eq/an	Opération GNR annualisée (tonnes CO2eq / an)	Opération GNR tot (tonnes CO2eq pour 60 ans)
1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 Église St-James de North Hatley	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 Église ND de Bonsecours de Montebello	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Église St-Michel de Percé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Le Pratto, Percé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 Église St-Louis de Chambord	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	101 216,00	0,00001883	1,91	395 647,00	1 424 329,20	0,0000618	88,00	71,10	89,90	5 394,07	0,0000263	37,46	71,10	39,37	2 361,96
10 Église St-Adalbert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 4.17 : Calculs des émissions d'opération des transformations (biénergie)

TRANSFORMATION															
Opération - Biénergie Gaz nat															
	Portion électrique			Portion combustible fossile		GN std. (église-percé : propane)		Él. + GN std. (église-percé : propane)			GNR		Él. + Gaz naturel renouvelable		
	kWh ÉLECTRICITÉ par an (kWh/an)	facteur électricité tonnes CO2eq / kWh / an	OP ÉLECTRICITÉ tonnes CO2eq / an	kWh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (kWh/an)	kWh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (MJ/an)	facteur GN standard (tonnes CO2eq/MJ)	OP GN standard tonnes CO2eq / an	COMPARATIF RET SCREEN Élec + GN tonnes CO2eq/an	Opération bi-é gaz nat std. annualisée (tonnes CO2eq / an)	Opération bi-é gaz nat std. (tonnes CO2eq pour 60 ans)	facteur GNR (tonnes CO2eq/MJ)	OP GNR tonnes CO2eq / an	COMPARATIF RET SCREEN Élec + GN tonnes CO2eq/an	Opération bi-é gaz nat ren. annualisée (tonnes CO2eq / an)	Opération bi-é gaz nat ren. (tonnes CO2eq pour 60 ans)
1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 Église St-James de North Hatley	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	112 656,00	0,00001883	2,12	31 249,00	112 496,40	0,000062	6,95	5,80	9,07	544,29	0,0000263	2,96	5,80	5,08	304,81
4 Église ND de Bonsecours de Montebello	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Église St-Michel de Percé	519 158,00	0,00001883	9,78	195 304,0	703 094,40	0,000072	50,94	43,60	60,72	3 642,96	-	-	-	-	-
6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	444 176,00	0,00001883	8,36	117 092,0	421 531,20	0,000062	26,04	21,60	34,41	2 064,42	0,0000263	11,09	21,60	19,45	1 167,06
7 Le Pratto, Percé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 Église St-Louis de Chambord	328 675,00	0,00001883	6,19	112 176,0	403 833,60	0,000062	24,95	20,50	31,14	1 868,31	0,0000263	10,62	20,50	16,81	1 008,63
9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	336 626,00	0,00001883	6,34	118 694,0	427 298,40	0,000062	26,40	21,70	32,74	1 964,27	0,0000263	11,24	21,70	17,58	1 054,64
10 Église St-Adalbert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville	386 980,00	0,00001883	7,29	113 980,0	410 328,00	0,000062	25,35	20,90	32,64	1 958,26	0,0000263	10,79	20,90	18,08	1 084,75

Tableau 4.18 : Calculs des émissions d'opération des transformations (tout électrique)

	TRANSFORMATION				
	Opération - Tout électrique				
	kWh/an électricité	facteur électricité tonnes CO <sub>2</sub> eq / kWh / an	COMPARATIF RET SCREEN tonnes CO <sub>2</sub> eq/an	Opération tout él annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération tout él tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	199 461	0,00001883	0,26	3,76	225,37
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	73 475	0,00001883	0,09	1,38	83,02
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	139 217	0,00001883	0,18	2,62	157,30
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	452 661	0,00001883	0,58	8,52	511,47
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	685 166	0,00001883	0,88	12,90	774,18
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	543 704	0,00001883	0,70	10,24	614,34
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	170 808	0,00001883	0,22	3,22	193,00
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	424 025	0,00001883	0,55	7,99	479,11
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	437 515	0,00001883	0,57	8,24	494,36
<b>10 Église St-Adalbert</b>	252 980	0,00001883	0,33	4,76	285,85
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	483 863	0,00001883	0,62	9,11	546,73

Tableau 4.19 : Calculs des émissions d'opération des transformations (tout électrique + amélioration)

TRANSFORMATION						
Opération - Électricité + amélioration efficacité toit/fen/ss						
	kWh ÉLECTRICITÉ par an(kWh/ an)	facteur électricité tonnes CO2eq / kWh / an	OP ÉLECTRICITÉ tonnes CO <sub>2</sub> eq / an	COMPARATIF RET SCREEN tonnes CO <sub>2</sub> eq/an	Opération él + eff annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération él + eff (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	-	-	-	-	-	-
2 Église St-James de North Hatley	-	-	-	-	-	-
3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	-	-	-	-	-	-
4 Église ND de Bonsecours de Montebello	402 454,00	0,00001883	7,58	0,52	7,58	454,74
5 Église St-Michel de Percé	545 160,00	0,00001883	10,27	0,70	10,27	615,99
6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	-	-	-	-	-	-
7 Le Pratto, Percé	-	-	-	-	-	-
8 Église St-Louis de Chambord	-	-	-	-	-	-
9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	344 616,00	0,00001883	6,49	0,44	6,49	389,39
10 Église St-Adalbert	-	-	-	-	-	-
11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville	-	-	-	-	-	-

Tableau 4.20 : Calculs des émissions d'opération des transformations (tout électrique + amélioration + géothermie)

	TRANSFORMATION					
	Opération - ÉI + eff. + géothermie					
	Portion électrique		OP ÉLECTRICITÉ tonnes CO <sub>2</sub> eq / an	COMPARATIF RET SCREEN tonnes CO <sub>2</sub> eq/an	Opération él + eff + géothermie annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération él + eff + géothermie (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
kWh ÉLECTRICITÉ par an(kWh/ an)	facteur électricité tonnes CO <sub>2</sub> eq / kWh / an					
1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	-	-	-	-	-	-
2 Église St-James de North Hatley	-	-	-	-	-	-
3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	-	-	-	-	-	-
4 Église ND de Bonsecours de Montebello	-	-	-	-	-	-
5 Église St-Michel de Percé	-	-	-	-	-	-
6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	-	-	-	-	-	-
7 Le Pratto, Percé	-	-	-	-	-	-
8 Église St-Louis de Chambord	-	-	-	-	-	-
9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	194 647,00	0,00001883	3,67	0,25	3,67	219,94
10 Église St-Adalbert	-	-	-	-	-	-
11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville	-	-	-	-	-	-

Tableau 4.21 : Synthèse des émissions des comparatifs neufs

	COMPARATIF NEUF							
	Intrinsèque		Opération - Tout électrique		Opération - Biénergie			
	Intrinsèque annualisé (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Intrinsèque total (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Opération tout él annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération tout él tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Él. + GN std. (église-percé : propane)		Él. + Gaz naturel renouvelable	
					Opération bi-é gaz nat std. annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération bi-é gaz nat std. (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	Opération bi-é gaz nat ren. annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération bi-é gaz nat ren. (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	4,9	296,0	2,59	155,46	-	-	-	-
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	2,0	118,5	0,95	57,13	-	-	-	-
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	4,0	237,2	1,65	99,28	4,52	271,18	2,75	164,80
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	6,4	386,7	3,09	185,45	-	-	-	-
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	7,8	466,7	2,93	175,99	7,89	473,40	-	-
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	10,7	640,5	6,32	379,44	15,81	948,54	9,94	596,36
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	3,6	217,4	1,97	118,40	-	-	-	-
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	6,3	376,4	3,41	204,55	9,43	566,00	5,71	342,32
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	6,7	402,9	3,71	222,49	9,15	548,79	5,78	346,86
<b>10 Église St-Adalbert</b>	5,4	322,2	2,53	152,06	-	-	-	-
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	6,7	401,5	5,36	321,41	12,19	731,25	7,96	477,62

Tableau 4.22 : Variantes modélisées, principales charges énergétiques et consommations totales des comparatifs neufs

		Type d'énergie pour le chauffage	Efficacité du système de chauffage	Ventilation, air neuf (cfm)	Pertes thermiques de l'enveloppe (kWh)	Consommation climatisation (kWh)	Chaleur requise pour air neuf (kWh)	Électricité pour moteurs ventilation (kWh)	Électricité éclairage (kWh)	Consommation totale électricité (kWh)	Consommation totale énergie fossile (kWh)
1	Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	Électricité	100%	2 655	54 929	11 358	33 196	41 873	18 606	137 589	0
2	Église St-James de North Hatley	Électricité	100%	710	25 275	6 352	8 486	11 195	4 976	50 562	0
3	Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	Électricité	100%	1 798	35 799	3 965	23 823	28 343	12 597	87 865	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	1 798	35 799	3 965	23 823	28 343	12 597	76 066	13 881
4	Église ND de Bonsecours de Montebello	Électricité	100%	3 283	59 657	14 908	41 193	51 684	23 004	164 128	0
5	Église St-Michel de Percé	Électricité	100%	3 965	55 815	0	54 618	62 520	27 787	155 756	0
		Biénergie électricité/propane	100%/85%	3 965	55 815	0	54 618	62 520	27 787	138 546	20 247
6	Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	Électricité	100%	7 410	105 603	21 836	101 984	116 858	51 929	335 815	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	7 410	105 603	21 836	101 984	116 858	51 929	296 754	45 954
7	Le Pratto, Percé	Électricité	100%	2 230	46 405	0	32 900	35 163	15 628	104 787	0
8	Église St-Louis de Chambord	Électricité	100%	3 753	70 372	5 194	57 857	59 174	26 298	181 029	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	3 753	70 372	5 194	57 857	59 174	26 298	156 220	29 187
9	Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	Électricité	100%	4 190	66 657	18 462	50 081	66 050	29 364	196 909	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	4 190	66 657	18 462	50 081	66 050	29 364	174 513	26 348
10	Église St-Adalbert	Électricité	100%	2 605	56 692	7 891	33 614	41 076	18 256	134 578	0
11	Église ND de l'Assomption de Victoriaville	Électricité	100%	7 285	80 504	10 041	98 717	114 870	51 053	284 452	0
		Biénergie électricité/gaz	100%/85%	7 285	80 504	10 041	98 717	114 870	51 053	256 322	33 094

Tableau 4.23 : Calculs des émissions intrinsèques des comparatifs neufs

	COMPARATIF NEUF							
	Intrinsèque							
	INTR Production des matériaux (A1 à A3)	INTR Construction du bâtiment (A4 et A5)	INTR Utilisation (B2 et B4)	INTR Fin de vie (C1 à C4)	INTR Au-delà du cycle de vie (D)	Intrinsèque total avec recyc métaux (tonnes CO <sub>2</sub> eq)	Intrinsèque annualisé (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Intrinsèque total sans recyc (tonnes CO <sub>2</sub> eq)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	225,5	24,2	24,8	21,6	-51,5	244,5	4,9	296,0
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	90,5	8,7	10,4	8,9	-17,9	100,6	2,0	118,5
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	184,7	20,5	15,6	16,4	-31,0	206,2	4,0	237,2
1. Standard	184,7	20,5	15,6	16,4	-31,0	206,2	4,0	237,2
2. Hybride a	83,6	19,8	15,6	49,3	-21,6	146,7	2,8	168,3
3. Hybride b	0,1	18,7	15,6	71,8	-18,7	87,6	1,8	106,2
4. Bois	-24,2	18,1	4,9	77,0	0,0	75,8	1,3	75,9
5. Design	236,0	19,8	26,8	21,6	-65,8	238,3	5,1	304,2
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	298,6	31,6	28,1	28,4	-43,1	343,6	6,4	386,7
1. Standard	298,6	31,6	28,1	28,4	-43,1	343,6	6,4	386,7
2. Hybride a	78,0	30,1	28,1	100,3	-22,2	214,3	3,9	236,5
3. Hybride b	-59,9	29,6	28,1	141,0	-21,9	116,9	2,3	138,8
4. Bois	-94,8	28,8	13,3	148,5	4,3	100,0	1,6	95,8
5. Design	371,4	31,1	41,6	36,1	-93,7	386,5	8,0	480,2
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	356,5	41,9	33,9	34,4	-57,3	409,4	7,8	466,7
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	487,5	50,1	46,1	45,5	-92,9	547,6	10,7	640,5
1. Standard	487,5	50,1	46,1	45,5	-92,9	547,6	10,7	640,5
2. Hybride a	194,9	47,8	46,1	136,9	-61,1	364,5	7,1	425,6
3. Hybride b	-120,3	41,8	46,1	215,4	-40,0	143,0	3,0	183,0
4. Bois	-196,3	40,0	25,9	231,9	6,8	108,3	1,7	101,5
5. Design	600,9	49,5	66,6	57,8	-168,6	606,2	12,9	774,8
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	166,0	17,3	17,3	16,7	-45,1	172,2	3,6	217,4
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	291,2	29,8	26,7	28,8	-63,0	313,5	6,3	376,4
1. Standard	291,2	29,8	26,7	28,8	-63,0	313,5	6,3	376,4
2. Hybride a	155,2	27,6	26,7	66,1	-46,1	229,5	4,6	275,7
3. Hybride b	-33,3	23,8	26,7	110,2	-34,1	93,3	2,1	127,4
4. Bois	-67,9	23,0	13,7	117,6	-9,6	76,8	1,4	86,4
5. Design	360,0	29,1	40,1	36,1	-108,6	356,6	7,8	465,2
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	308,0	31,8	34,9	28,1	-78,3	324,6	6,7	402,9
<b>10 Église St-Adalbert</b>	247,2	31,4	22,6	20,9	-20,4	301,7	5,4	322,2
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	312,4	32,5	27,3	29,3	-61,1	340,4	6,7	401,5

Tableau 4.24 : Calculs des émissions d'opération des comparatifs neufs (tout électrique)

<b>COMPARATIF NEUF</b>					
<b>Opération - Tout électrique</b>					
	kWh/an électricité	facteur électricité tonnes CO <sub>2</sub> eq / kWh	COMPARATIF RET SCREEN tonnes CO <sub>2</sub> eq/an	Opération tout él annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération tout él tot (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
<b>1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse</b>	137 589	0,00001883	0,18	2,59	155,46
<b>2 Église St-James de North Hatley</b>	50 562	0,00001883	0,07	0,95	57,13
<b>3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne</b>	87 865	0,00001883	0,11	1,65	99,28
<b>4 Église ND de Bonsecours de Montebello</b>	164 128	0,00001883	0,21	3,09	185,45
<b>5 Église St-Michel de Percé</b>	155 756	0,00001883	0,20	2,93	175,99
<b>6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette</b>	335 815	0,00001883	0,43	6,32	379,44
<b>7 Le Pratto, Percé</b>	104 787	0,00001883	0,14	1,97	118,40
<b>8 Église St-Louis de Chambord</b>	181 029	0,00001883	0,23	3,41	204,55
<b>9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook</b>	196 909	0,00001883	0,25	3,71	222,49
<b>10 Église St-Adalbert</b>	134 578	0,00001883	0,17	2,53	152,06
<b>11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville</b>	284 452	0,00001883	0,37	5,36	321,41

Tableau 4.25 : Calculs des émissions d'opération des comparatifs neufs (biénergie)

COMPARATIF NEUF															
Opération - Biénergie															
	Portion électrique			Portion combustible fossile		GN standard		Él. + GN std. (église-percé : propane)			GNR		Él. + Gaz naturel renouvelable		
	kWh ÉLECTRICITÉ par an (kWh/an)	facteur électricité tonnes CO <sub>2</sub> eq / kWh / an	OP ÉLECTRICITÉ tonnes CO <sub>2</sub> eq / an	kWh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (kWh/an)	kWh COMBUSTIBLE FOSSIBLE par an (MJ/an)	facteur GN standard (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	OP GN standard / an	COMPARARIF RET SCREEN Élec + GN tonnes CO <sub>2</sub> eq/an	Opération bi-é gaz nat std. annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération bi-é gaz nat std. (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)	facteur GNR (tonnes CO <sub>2</sub> eq/MJ)	OP GNR / an	COMPARARIF RET SCREEN Élec + GN tonnes CO <sub>2</sub> eq/an	Opération bi-é gaz nat ren. annualisée (tonnes CO <sub>2</sub> eq / an)	Opération bi-é gaz nat ren. (tonnes CO <sub>2</sub> eq pour 60 ans)
1 Presbytère de Saint-Michel de Bellechasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 Église St-James de North Hatley	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Église de Sainte-Christine-d'Auvergne	76 066,00	0,00001883	1,43	13 881,00	49 971,60	0,000062	3,09	2,60	4,52	271,18	0,0000263	1,31	2,60	2,75	164,80
4 Église ND de Bonsecours de Montebello	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Église St-Michel de Percé	138 546,00	0,00001883	2,61	20 247,0	72 889,20	0,000072	5,28	4,60	7,89	473,40	-	-	-	-	-
6 Abbaye des Moniales Bénédictines PAX, Joliette	296 754,00	0,00001883	5,59	45 954,0	165 434,40	0,000062	10,22	8,60	15,81	948,54	0,0000263	4,35	8,60	9,94	596,36
7 Le Pratto, Percé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 Église St-Louis de Chambord	156 220,00	0,00001883	2,94	29 187,0	105 073,20	0,000062	6,49	5,40	9,43	566,00	0,0000263	2,76	5,40	5,71	342,32
9 Église Saint-Jean-L'Évangéliste, de Coaticook	174 513,00	0,00001883	3,29	26 348,0	94 852,80	0,000062	5,86	5,00	9,15	548,79	0,0000263	2,49	5,00	5,78	346,86
10 Église St-Adalbert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Église ND de l'Assomption de Victoriaville	256 322,00	0,00001883	4,83	33 094,0	119 138,40	0,000062	7,36	6,30	12,19	731,25	0,0000263	3,13	6,30	7,96	477,62