



GREEN
MUNICIPAL
FUND

FONDS
MUNICIPAL
VERT

Document d'orientation pour l'étude de faisabilité de la réduction des émissions de GES à long terme

Mise à jour Mai 2024

A program of

FCM

Table des matières

Introduction.....	2
Définition du programme.....	2
À propos de ce document d'orientation.....	3
Partie 1 : Objectif et résultats escomptés de l'étude.....	4
Résultat requis de l'étude.....	5
Autres considérations.....	7
Partie 2 : Processus d'étude et exigences.....	11
Étape 1 : Étude du site.....	11
Étape 2 : Modélisation étalonnée du bâtiment existant.....	14
Étape 3 : Atelier de conception.....	17
Étape 4 : Analyse au niveau des mesures.....	18
Étape 5 : Scénarios de réduction des émissions de GES à long terme et analyse de l'ensemble des mesures.....	24
Étape 6 : Atelier décisionnel.....	28
Étape 7 : Plan des immobilisations ou rapport final.....	29
Partie 3 : Définitions et références.....	31
Termes et définitions clés.....	31
Facteurs et hypothèses.....	35
Prix des services publics et du carbone.....	36
Coût du cycle de vie et ressources.....	37
Estimation des coûts et ressources.....	38
Annexe A : Exemple de plan du rapport.....	39
Annexe B : Exemple de scénario de réduction des émissions de GES à long terme.....	40

Introduction

Définition du programme

Les initiatives Rénovation de bâtiments de loisirs (RBL) et Bâtiments municipaux durables de la Fédération canadienne des municipalités (FCM) fournissent un financement pour optimiser le rendement énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) des bâtiments communautaires et municipaux existants. Les deux initiatives sont administrées par le Fonds municipal vert (FMV) de la FCM.

Les subventions pour les études de faisabilité de la réduction des émissions de GES à long terme aident les municipalités à intégrer des mesures de réduction des émissions et de la consommation d'énergie dans les plans de gestion des bâtiments municipaux à long terme. Ces études permettent aux municipalités de déterminer les mesures de réduction des émissions de GES (le « plan de réduction des émissions de GES à long terme ») qui les aideront à réduire les émissions de GES provenant des bâtiments municipaux en :

- réduisant les émissions de GES d'au moins 50 % en 10 ans;
- atteignant l'intensité de la demande en énergie thermique (IDET), l'intensité de l'utilisation d'énergie (IUE) et/ou la réduction de 25 % de la consommation d'énergie par rapport au Code national de l'énergie pour les bâtiments 2020 en 20 ans.

Pour obtenir la liste complète des conditions d'admissibilité aux études de faisabilité du plan de réduction des émissions de GES à long terme, consultez le [guide de présentation d'une demande](#).

La réalisation d'une étude de faisabilité de la réduction des émissions de GES (ou une étude équivalente) est une **condition préalable** à la présentation d'une demande de financement d'un projet d'immobilisations. Les études équivalentes doivent respecter les exigences minimales de rendement énergétique énoncées dans le présent document, mais il n'est pas nécessaire qu'elles aient été financées par le FMV. Si vous avez réalisé une étude de faisabilité et que vous êtes incertain qu'elle réponde aux exigences minimales, veuillez communiquer avec nous pour obtenir de l'aide.

Pour en savoir plus sur l'initiative Rénovation de bâtiments de loisirs, veuillez visiter le [site Web](#). Vous trouverez également plus de renseignements sur l'initiative Bâtiments municipaux durables [ici](#).

À propos de ce document d'orientation

Le présent document fournit des directives pour la préparation d'une étude de faisabilité de la réduction des émissions de GES à long terme dans le cadre des initiatives Rénovation de bâtiments de loisirs et Bâtiments municipaux durables du FMV. Le guide s'adresse aux professionnels de la modélisation énergétique qui communiqueront les exigences nécessaires à leurs clients.

Le document est divisé en deux sections importantes :

Objectif, processus, détails : La première partie résume l'objectif général de l'étude. La deuxième partie traite des détails du processus et de la réalisation ainsi que de la qualité du travail. La [troisième partie](#) comprend un glossaire des termes importants et des références techniques.

Exigences et recommandations : Dans la première et la deuxième partie, chaque section comprend les exigences de la FCM ainsi que des recommandations et/ou des pratiques exemplaires. En général, il y a moins d'exigences que de recommandations ou de pratiques exemplaires, et les exigences sont souvent de nature qualitative. Les recommandations ou les pratiques exemplaires donnent plus de détails sur les normes de l'industrie pour des travaux similaires et offrent des points de départ pratiques pour l'analyse.

Partie 1 : Objectif et résultats escomptés de l'étude

L'objectif de l'étude est d'aider les décideurs de municipalités et d'organismes à but non lucratif à prendre des décisions précoces et éclairées en matière de planification des immobilisations de leurs actifs qui correspondent à leurs objectifs de réduction des émissions de GES et d'autres objectifs organisationnels (financiers, durables, opérationnels, etc.). L'étude doit permettre à ces promoteurs de projet¹ d'explorer des mesures de réduction des émissions de GES et de déterminer le bon moment pour réaliser des investissements en immobilisations pour atteindre leurs objectifs.

Les études porteront sur :

- l'état du lieu à aménager ou à réaménager (p. ex. le lieu sélectionné peut nécessiter un réaménagement sur terrain intercalaire, une réhabilitation d'une friche industrielle, etc.);
- l'unicité du lieu et toutes contraintes et possibilités organisationnelles et juridictionnelles auxquelles est confronté le promoteur du projet;
- une grande variété de mesures de réduction des émissions de GES qui pourraient convenir;
- la nature systémique des projets de rénovation en profondeur en matière d'émissions de carbone (c.-à-d. au-delà des rénovations isolées de systèmes individuels et prise en compte des interactions et des interrelations des systèmes du bâtiment dans leur ensemble);
- les répercussions du coût du cycle de vie prévu, en tenant compte des besoins en immobilisations initiaux, de l'exploitation des installations et de l'entretien de l'équipement;
- l'importance de l'installation pour les activités du promoteur de projet (c. à d. les contraintes opérationnelles de la mise en œuvre des mesures²).

En raison de la complexité des rénovations en profondeur, en particulier celles entreprises dans des installations existantes en exploitation dont les budgets d'immobilisations et d'entretien sont traditionnellement fixes, l'étude doit également aborder la planification des immobilisations.

¹ Le terme « promoteur du projet » désigne l'entité qui réalise l'étude (p. ex. les propriétaires de bâtiments municipaux ou à but non lucratif).

² Pour plus de détails sur les mesures de l'étude, consulter la [section sur l'étude au niveau des mesures](#).

Résultat requis de l'étude

L'étude doit expliquer au moins un plan de réduction des émissions de GES à long terme choisi au terme de la comparaison d'au moins deux scénarios. Un plan pour la réduction des émissions de GES à long terme décrit un ensemble de mesures (le « plan ») pour réduire les émissions de GES d'au moins 50 % dans un délai de 10 ans et atteindre les objectifs énergétiques de la Norme du bâtiment à carbone zéro du CBDCA d'ici 20 ans (par rapport au rendement de référence)³.

L'étude doit également déterminer les possibilités de réduction de la consommation d'eau potable. Tous les appareils de plomberie du bâtiment doivent respecter les débits pour les appareils et les raccords définis par le crédit *Indoor Water Use Reduction* pour les nouvelles constructions LEED v4 C+CB de l'USGBC⁴.

Remarque sur les zones climatiques

Le Code national du bâtiment du Canada définit six zones climatiques, allant de la zone 4 à la zone 8. Vous déterminez votre zone climatique⁵ en fonction du nombre de degrés-jours de chauffage enregistrés au cours d'une année civile (voir tableau 1).

Tableau 1 : Zones climatiques du Canada

Zone	Degrés-jours de chauffage pour l'emplacement du bâtiment, en degrés-jours Celsius
4	Moins de 3 000
5	De 3 000 à 3 999
6	De 4 000 à 4 999
7A	De 5 000 à 5 999
7B	De 6 000 à 6 999
8	7 000 et plus

Scénarios de réduction des émissions de GES à long terme

Le promoteur du projet peut décider, au terme de l'étude, que deux ou plusieurs plans de réduction des émissions de GES à long terme soient définis pour les décideurs clés. Autrement, il peut également choisir d'incorporer un plan d'étude de réduction des émissions de GES à long terme à des fins d'examen. Que l'étude

³ La Norme du bâtiment à carbone zéro : <https://www.cagbc.org/fr/notre-travail/certifications/normes-du-batiment-a-carbone-zero/>.

⁴ United States Green Building Council LEED v4 Indoor Water Use Reduction Credit: [Indoor water use reduction | U.S. Green Building Council \(usgbc.org\)](https://www.usgbc.org/indoor-water-use-reduction)

⁵ [Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2020 – Volume 1](#)

présente un ou plusieurs plans de réduction des émissions de GES, elle doit inclure la mise en œuvre d'au moins deux scénarios, comme indiqué ci-dessous.

L'étude **doit** inclure les scénarios de réduction des émissions de GES à long terme suivant :

- Élimination progressive de toutes les sources d'énergie fossiles à l'exception de celles utilisées comme sources d'appoint.
ET
- Un scénario de « rendement minimal » intégrant les éléments suivants :
 - Réduction des émissions de GES d'au moins 50 % en 10 ans.
- Atteinte de l'intensité de la demande en énergie thermique (IDET) pour la zone climatique appropriée pour le projet⁶
ET
 - Respect de l'intensité de l'utilisation d'énergie (IUE) pour le type de bâtiment approprié selon la Norme du bâtiment à carbone zéro v3 du CBDCA en 20 ans.

Faire appel à l'approche flexible : Code national de l'énergie pour les bâtiments 2020 ou IDET/IE

La Norme du bâtiment à carbone zéro du CBDCA offre une approche flexible en permettant aux bâtiments autres que les bureaux d'atteindre leurs objectifs énergétiques selon un taux d'amélioration de 25 % par rapport à la norme du Code national de l'énergie pour les bâtiments 2020 du gouvernement fédéral.

Pour les bâtiments ou les zones de bâtiments qui ont des charges de chauffage et de ventilation uniques, le modèle de bâtiment de référence doit respecter les exigences normatives du Code national de l'énergie des bâtiments 2020 plutôt que l'objectif IDET. Cela comprend le chauffage d'une piscine, la réfrigération de patinoires ou de matériaux, les aires de garage et de service, les laboratoires ou toute autre activité qui n'est pas destinée au chauffage et à la climatisation des occupants du bâtiment.

Le résultat de la modélisation fournira une valeur IDET pondérée par zone, y

⁶ Les projets peuvent choisir entre quatre options pour répondre aux exigences de l'IDEC, ce qui permet de sélectionner l'option la plus appropriée en fonction de l'utilisation de la combustion sur place, de l'emplacement du projet et des situations dans lesquelles le projet a des charges de chauffage ou de ventilation uniques. Des conseils supplémentaires peuvent être obtenus dans le document de référence du CBDCA [Directives de modélisation énergétique de la Norme du bâtiment à carbone zéro - version 3](#).

compris les zones de chauffage et de ventilation uniques. Consultez le guide de modélisation énergétique des bâtiments à carbone zéro, version 3⁷ pour obtenir de plus amples renseignements sur ce calcul.

L'étude doit également inclure au moins un des scénarios de réduction des émissions de GES à long terme suivants :

- Un scénario de « rénovation en profondeur à court terme » : Ce scénario comprend les mêmes mesures de réduction des émissions de GES que le scénario de « rendement minimal », sauf que toutes les mesures seront mises en œuvre au cours des cinq premières années (possiblement par l'inclusion d'autres fonds et d'options de financement).

OU

- Un scénario de « décarbonisation agressive » : Ce scénario donne un résultat similaire sur le plan du coût du cycle de vie au cours de la période d'étude au scénario de « rendement minimal » tout en maximisant les réductions cumulatives annuelles d'émissions de GES au cours de la même période.

En plus des scénarios de réduction des GES qui diminuent les émissions de GES d'au moins 50 % en 10 ans et permettent d'atteindre les objectifs énergétiques de la norme de construction zéro carbone en 20 ans, bien que cela ne soit pas obligatoire, le promoteur du projet peut également envisager d'inclure un scénario « similaire » à des fins de comparaison⁸. Il s'agit d'un scénario tendanciel fondé sur les prévisions ou les exigences d'entretien et de remplacement de l'équipement (comme déterminées par l'évaluation du site) combinées aux recommandations formulées à la suite d'un audit énergétique traditionnel mené dans le cadre d'études antérieures de l'installation.

Autres considérations

Les points suivants sont des éléments supplémentaires qui peuvent être pris en compte dans le cadre de l'étude.

⁷ Document de référence du CBDCA [Directives de modélisation énergétique de la Norme du bâtiment à carbone zéro - version 3](#).

⁸ Puisqu'un scénario « similaire » ou « habituel » est peu susceptible d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES requis, il ne peut pas faire partie des deux scénarios de réduction des émissions de GES à long terme requis dans l'étude.

Alignement sur les possibilités de financement

Il est recommandé que le document d'étude final répertorie les programmes d'incitation et de financement régionaux et nationaux potentiels pour les projets d'immobilisations pour des rénovations dans le cadre des initiatives RBL et Bâtiments municipaux durables du FMV. Les possibilités de financement peuvent orienter la planification des immobilisations visant à réduire les GES à long terme. Il convient donc de prendre en considération les exigences ou les conditions préalables de ces mesures incitatives et de ces programmes qui pourraient être intégrées dans la portée des travaux de cette étude.

Préparation des travaux futurs

L'étude pourrait comprendre des activités supplémentaires qui permettraient d'accélérer la mise en œuvre de la phase suivante des travaux. Il peut s'agir, par exemple, de la préparation d'un plan de mesure et de vérification de la conception recommandée, de l'évaluation des capacités électriques, de l'équipement individuel et de l'étude du site (comme des essais de conductivité thermique) et/ou de travaux de conception schématique plus détaillés.

Analyse plus large de la durabilité et de la résilience

Il est entendu que les scénarios de réduction des émissions de GES à long terme auront d'autres avantages qualitatifs (p. ex. le confort des occupants) ou des avantages non énergétiques ou ne visant pas à réduire les émissions de GES (p. ex. des économies d'eau) qui peuvent être importants pour le promoteur du projet et d'autres parties prenantes clés. Les équipes d'étude sont invitées à intégrer ces considérations dans un processus décisionnel plus large.

Le promoteur du projet doit également envisager d'aligner les résultats de l'étude sur la planification de la résilience climatique (p. ex. en adoptant l'Optique des changements climatiques⁹). Cela pourrait inclure l'examen des répercussions météorologiques et climatiques futures (p. ex. le réchauffement ou les risques d'inondation) et l'attribution d'une valeur qualitative ou quantitative aux mesures qui améliorent la résilience.

Éducation et collaboration

Étant donné la nature hautement intégrée de la planification de la décarbonisation, de nombreuses parties prenantes prennent souvent part au processus d'étude. Il s'agit d'une excellente occasion de leur expliquer le processus de décarbonisation en général ainsi que les défis et possibilités uniques que présentent les bâtiments. De même, la possibilité de collaborer et de nouer des partenariats avec d'autres organisations (fabricants d'équipement, organisations non gouvernementales

⁹ L'Optique des changements climatiques est un cadre d'évaluation mis au point par le gouvernement fédéral du Canada pour évaluer les [projets d'infrastructure](#) axés sur la réduction des émissions de GES et la résilience aux changements climatiques.

[ONG], autres municipalités, etc.) peut s'offrir, en particulier lorsque les technologies ou les processus novateurs sont explorés et qu'ils dépassent les attentes normales d'exploitation du promoteur du projet.

Évaluation du carbone intrinsèque (optionnel et recommandé)

Le carbone intrinsèque associé à la construction de bâtiments représente actuellement environ 10 % des émissions de carbone au Canada. Si l'on tient compte du fait que le secteur du bâtiment tend à adopter le principe de carbone zéro et de la croissance prévue des aires de plancher, le carbone intrinsèque représente une proportion croissante des émissions globales.

Compte tenu de l'importance croissante du carbone intrinsèque, les promoteurs du projet auraient intérêt de réaliser, dans le cadre de l'étude, une évaluation du carbone sur l'ensemble du cycle de vie. Cette évaluation vise à encourager les équipes de projet à tenir compte de l'importance relative du carbone intrinsèque et à réduire le potentiel de carbone intrinsèque tout au long du processus de conception. L'amélioration de la divulgation des intensités de carbone intrinsèque permet également d'adopter une approche plus globale de la décarbonisation pendant la durée de vie du bâtiment et facilitera la comparaison pour les prochains projets de construction.

Conservation de l'eau potable

La rénovation des bâtiments peut être perturbante, mais elle offre également l'occasion d'améliorer les systèmes et les appareils qui utilisent de l'eau potable. Le remplacement des appareils sanitaires existants par des modèles à faible débit, l'utilisation d'appareils à haut rendement et le recours à d'autres stratégies d'économie d'eau peuvent réduire les besoins en eau de fonctionnement. Cela permettra de réduire les coûts des services publics tout en contribuant à la protection des masses d'eau naturelles. La réduction de la demande en eau peut également permettre de réaliser des économies d'énergie en réduisant les besoins en chauffage de l'eau domestique.

Considérations sur les changements futurs

Étant donné la longue période considérée dans l'étude, le promoteur du projet devrait se demander s'il sera nécessaire de revoir les résultats et les calculs ultérieurement. Les éléments déclencheurs potentiels susceptibles d'avoir une incidence sur les résultats de l'étude et de motiver une mise à jour ultérieure sont les suivants :

- de nouvelles technologies ou des améliorations considérables apportées aux technologies existantes;
- des modifications importantes des facteurs d'émission (notamment pour les réseaux électriques) et du coût du carbone;
- des mesures incitatives ou des possibilités de financement nouvelles ou supplémentaires;

- des changements au coût des immobilisations pour l'achat des matériaux nécessaires à la rénovation;
- des changements d'utilisation des installations ou des rénovations majeures.

Par conséquent, il est recommandé que le promoteur du projet veille à ce que les volets d'analyse et d'étude requis soient fournis dans un format qui puisse être mis à jour assez facilement, au besoin. Par exemple, en demandant aux fournisseurs de services de fournir des versions électroniques des modèles énergétiques étalonnés et d'utiliser des logiciels d'analyse énergétique qui ne seront pas obsolètes (ou désuets) à court ou à moyen terme.

Partie 2 : Processus d'étude et exigences

La **figure 1** donne un aperçu des étapes à suivre pour réaliser l'étude. La deuxième partie présente les résultats attendus et les autres exigences pour chaque étape, ainsi que les recommandations en matière de pratiques exemplaires. Les références à d'autres normes ou lignes directrices ont été mises en évidence, le cas échéant, et les liens vers ces références sont inclus dans la [troisième partie](#).

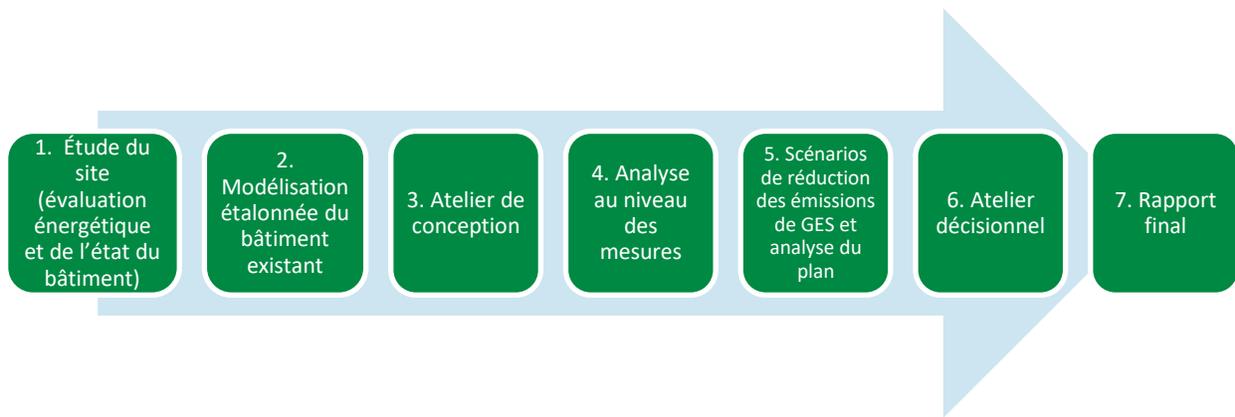


Figure 1 : Déroulement de l'étude

Étape 1 : Étude du site

Pour commencer, « l'équipe d'étude¹⁰ » passe en revue toute la documentation disponible (les études déjà réalisées, les plans existants, etc.), puis effectue une visite du site et des entretiens avec l'exploitant afin de comprendre l'installation existante et son exploitation.

Des travaux supplémentaires d'étude du site peuvent également être nécessaires pour régler les derniers détails des mesures et (occasionnellement) pour recueillir des données de compteurs servant à mieux comprendre et à étalonner le modèle énergétique du bâtiment.

L'entretien avec l'exploitant est une composante importante de l'étude du site, car les exploitants possèdent une meilleure connaissance de l'état et des conditions d'exploitation actuels de l'équipement consommateur d'énergie dans un bâtiment.

¹⁰ « L'équipe d'étude » désigne l'équipe de prestataires de services engagée par le promoteur pour réaliser l'étude du plan (ingénieurs, architectes, modélisateurs d'énergie, spécialistes du bâtiment, consultants en coûts, etc.).

De plus, ils sont souvent en mesure d'offrir un point de vue pertinent sur la façon d'améliorer ces systèmes et de remédier aux lacunes.

Exigences minimales

L'équipe d'étude doit utiliser l'étude du site pour recueillir des données conformes, minimalement, aux exigences définies pour un audit énergétique et hydrique de niveau 2 de l'ASHRAE. L'étude doit toutefois contenir suffisamment de détails pour soutenir une analyse financière solide guidée par les données et des estimations précises de la consommation énergétique, des coûts et des économies, ainsi que des émissions de GES et des réductions d'émissions. L'équipe d'étude n'est pas tenue de préparer un rapport répondant aux exigences de l'ASHRAE; la norme ASHRAE 211 ne doit être utilisée qu'à titre indicatif.

La partie de l'étude de faisabilité consacrée à l'évaluation énergétique doit être réalisée par un professionnel qualifié, c.-à-d. un ingénieur, un gestionnaire en énergie certifié ou un vérificateur en énergie certifié.

L'étude du site doit comporter, au minimum, les éléments suivants :

- une revue des documents disponibles, comme les plans, les registres et les manuels d'exploitation et d'entretien, les spécifications et les fiches d'équipement, les audits, rapports et évaluations d'état antérieurs, etc.;
- une analyse des factures de services publics ou de la consommation énergétique et d'eau pendant au moins 12 mois (de préférence 36 mois) et des données de référence sur le rendement;
- un relevé du site de l'installation pour évaluer les principaux systèmes du bâtiment, ce qui devrait combler les lacunes de connaissances constatées lors de l'examen de la documentation et des entrevues avec le personnel d'exploitation et de gestion immobilière;
- une entrevue ou une autre forme d'engagement auprès du personnel d'exploitation pour cerner les répercussions opérationnelles et entamer un dialogue constructif avec ces membres essentiels de l'équipe.

Pratiques exemplaires et recommandations

Une étude rigoureuse du site aidera l'équipe d'étude à cibler les occasions, les contraintes et les obstacles propres au site par rapport aux mesures potentielles dont l'étude tiendra compte.

Si une évaluation de l'état du bâtiment n'a pas été réalisée au cours des trois dernières années, si des changements importants ont eu lieu depuis la dernière évaluation de l'état du bâtiment, ou si l'équipe d'étude estime qu'une évaluation récente de l'état du bâtiment ne fournit pas de données suffisantes pour préparer un plan d'immobilisations sur vingt ans pour les systèmes énergétiques de

l'installation actuelle, il est recommandé que l'équipe d'étude réalise une évaluation de l'état du bâtiment (ou une évaluation de l'état de la propriété) conformément à la norme ASTM E2018-15, *Guide standard pour les évaluations de l'état des propriétés : processus d'évaluation de l'état des propriétés de base*.

Pour l'étude des systèmes énergétiques, il est recommandé que l'équipe d'étude respecte généralement les exigences du niveau 3 de l'ASHRAE. Étant donné que le projet est considéré comme un projet exigeant en immobilisations et que l'on s'attend à une modélisation énergétique détaillée et à une analyse financière solide guidée par les données, le niveau de l'étude des systèmes du site se classera probablement entre un audit de niveau 2 et un audit de niveau 3, selon l'ampleur des changements et de l'importance d'une mesure donnée dans le plan global de décarbonisation.

Un audit de niveau 3 officiel comprendrait une collecte de données de plus haut niveau que celle requise pour la présente étude, mais contribuerait à améliorer les résultats globaux (puisque des données de meilleure qualité devraient être recueillies). Il convient toutefois de noter qu'un audit de niveau 3 peut augmenter les coûts potentiels de l'étude.

Un examen destructif de l'enceinte et, occasionnellement, des systèmes CVC, peut être utile lorsque des lacunes dans l'information pourraient avoir une incidence considérable sur les résultats de l'étude, comme l'incertitude entourant la construction existante et l'état de l'enceinte ou de la structure. Il faut étudier avec soin la nécessité d'un examen destructif (p. ex. celui-ci peut aider à cerner les mesures possibles, l'incidence sur le rendement et les coûts connexes), mais il est généralement recommandé que l'étude s'appuie sur la documentation existante et un examen visuel.

Étape 2 : Modélisation étalonnée du bâtiment existant

Une fois l'étude du site terminée, il faut préparer un modèle énergétique étalonné du bâtiment existant. Ce modèle énergétique sera utilisé pour évaluer les résultats en matière de consommation d'énergie et d'émissions de GES au niveau des mesures et de l'installation. Il orientera également les analyses des coûts du cycle de vie (p. ex. les économies d'énergie). Les logiciels acceptés pour procéder à la modélisation énergétique étalonnée comprennent notamment IES VE, eQuest/CanQuest et EnergyPlus.

Exigences minimales

Pour garantir les meilleurs résultats pour ce qui est susceptible d'être des ensembles de mesures de réduction des émissions de GES plus systémiques (c.-à-d. complexes et interreliés) au niveau du bâtiment, le modèle doit être étalonné conformément aux exigences établies dans la dernière révision de l'ASHRAE 14 et un rapport d'étalonnage doit être fourni. La partie de l'étude de faisabilité consacrée à l'étalonnage du modèle énergétique doit être réalisée par un professionnel qualifié, c.-à-d. un ingénieur, un gestionnaire en énergie certifié ou un vérificateur en énergie certifié.

Toute la consommation énergétique du bâtiment doit être incluse dans le modèle, y compris les charges de traitement, même lorsque celles du bâtiment étudié sont importantes ou comprennent des types de systèmes qui ne sont généralement pas traités au départ par l'outil de modélisation horaire choisi par l'équipe. Lorsqu'une charge de traitement (ou tout autre système) n'a pas été modélisée au départ dans le logiciel d'analyse horaire, une documentation et des calculs supplémentaires doivent être fournis. De plus, les résultats des calculs externes doivent être combinés aux résultats modélisés au départ de façon transparente dans le rapport. Il faut inclure toute autre documentation sur les résultats globaux.

Prise en compte de la variation significative de la base de référence

Parfois, on prévoit que les paramètres d'exploitation indépendants des bâtiments subiront des changements importants, comme la période de pointe de l'occupation, le calendrier d'utilisation, les points de consigne de température ou l'utilisation des équipements par les utilisateurs. Dans les cas où l'on s'attend à ce que le changement soit important, le modèle étalonné doit être modifié pour tenir compte de ces facteurs avant de commencer l'analyse au niveau des mesures et du bâtiment.

Lorsque le changement est considéré comme étant substantiel (p. ex. lorsque le bâtiment dispose d'un tout nouveau programme fonctionnel), il est possible d'ignorer la nécessité d'inclure un modèle étalonné pour bâtiment existant et

d'utiliser les résultats d'un modèle reflétant sa nouvelle utilisation comme base de référence. Cependant, dans ce cas, des travaux supplémentaires pourraient être nécessaires à l'avenir pour comprendre comment saisir correctement les réductions des émissions de GES découlant des mesures mises en œuvre. Il faut prendre en compte ces répercussions dans l'étude.

Pratiques exemplaires et recommandations

Rendement total de l'enveloppe : Une pratique exemplaire en matière de modélisation des enveloppes de bâtiments, conforme à la version la plus récente du Code national de l'énergie pour les bâtiments (CNÉB), comprend l'analyse globale des ponts thermiques, y compris les pertes de chaleur ponctuelles et linéaires. Cette analyse peut donner un aperçu des problèmes potentiels de l'enveloppe existante, en particulier aux intersections des systèmes (mur et fenêtre, parapet, etc.), et peut refléter plus précisément les avantages des pratiques exemplaires d'amélioration de l'enveloppe. Cette analyse nécessitera généralement une étude plus détaillée du site ainsi que l'intervention d'un expert en façades. BC Hydro et la Ville de Toronto ont publié des lignes directrices et des feuilles de calcul pour soutenir l'analyse et quantifier les pertes de chaleur de l'ensemble de l'installation et du système. Des liens vers ces ressources et d'autres ressources sont inclus dans la troisième partie.

Modélisation de l'incidence de la demande d'électricité : Il est recommandé que, dans les cas où le changement de combustible pour passer à l'électricité (p. ex. les thermopompes à air) est censé être un élément essentiel de la solution finale de décarbonisation, suffisamment de détails soient inclus dans l'analyse pour refléter l'incidence sur la demande d'électricité du site. Une telle modélisation de la demande exige une bonne compréhension : i) des horaires d'utilisation du bâtiment et ii) des courbes de rendement combinées de la charge partielle et de la sensibilité à la température de l'équipement important. Ces données supplémentaires peuvent prendre plus de temps à être recueillies pendant l'étude du site et l'analyse des mesures, mais peuvent apporter des renseignements importants (essentiels) lorsque le service électrique entraîne des préoccupations relatives à la faisabilité du projet.

Analyse de l'incidence intrinsèque : Les émissions de carbone intrinsèque sont celles générées à des points du cycle de vie du bâtiment autres que l'exploitation, comme la chaîne d'approvisionnement en matériaux (c.-à-d. l'extraction des matières premières, le traitement des matériaux, le transport ou la fabrication), la construction et la fin de vie du bâtiment (c.-à-d. la démolition et l'élimination). Une sélection minutieuse des différents matériaux ou produits pour apporter des améliorations potentielles peut contribuer à réduire considérablement les émissions de carbone liées au cycle de vie ou même offrir des possibilités de séquestration de carbone (p. ex. les biomatériaux de l'enveloppe confèrent un avantage en matière de séquestration de carbone). La *Norme du bâtiment à carbone zéro* du Conseil du bâtiment durable du Canada définit les exigences relatives au carbone intrinsèque (y

compris des exigences de déclaration et de compensation), notamment un modèle de déclaration du carbone intrinsèque.

Conditions météorologiques futures : La prise en compte des changements météorologiques causés par les changements climatiques est considérée comme une pratique exemplaire pour les études à long terme. Généralement, les équipes d'étude peuvent compter sur les offices de protection de la nature et d'autres sources de projections climatiques des gouvernements provinciaux pour obtenir des estimations des changements météorologiques prévus sur des horizons de 25 et 50 ans¹¹. Il convient de noter que, même si les effets des conditions météorologiques futures doivent être pris en compte, la pratique exemplaire consiste généralement à traiter les effets sur la taille de l'équipement d'une manière purement pessimiste (p. ex. en ignorant les avantages potentiels de la taille du système de chauffage tout en incluant des exigences accrues en matière de système de refroidissement).

¹¹ Pour plus de renseignements sur les tendances météorologiques futures, visiter [le site Web de l'Atlas climatique du Canada](#) et [le site Web du gouvernement du Canada](#).

Étape 3 : Atelier de conception

L'atelier de conception vise à confirmer l'orientation générale de l'étude, à établir les membres clés de l'équipe d'étude ainsi qu'à cerner et à filtrer les mesures pour une analyse plus approfondie en tenant compte des données recueillies lors de l'étude du site et des étapes de modélisation étalonnée des données de référence. La discussion doit porter sur les possibilités propres au site, les contraintes et les obstacles à la mise en œuvre de mesures potentielles, l'alignement des mesures sur le bâtiment et les objectifs plus larges du promoteur du projet.

Exigences minimales

Organisez et documentez un atelier avec l'équipe d'étude et les principales parties prenantes du projet.

Pratiques exemplaires et recommandations

Les étapes importantes de l'atelier de conception sont les suivantes :

- Confirmer les objectifs du promoteur du projet pour le bâtiment, y compris la réduction des émissions de GES, les objectifs d'IDET et d'ITCE, les résultats en matière de durabilité, les objectifs opérationnels, l'évaluation financière, etc., et les objectifs spécifiques de l'étude (p. ex. la manière dont l'étude sera utilisée pour une prise de décisions éclairées par le conseil).
- Discuter des fonds disponibles, du financement et des contraintes de planification des immobilisations.
- Discuter du calendrier, des étapes clés, des conflits et des préoccupations potentiels, etc.
- Examiner le processus d'étude, y compris les rôles et responsabilités de l'équipe d'étude et des représentants du promoteur du projet (c.à.d. les principales parties prenantes et les décideurs, comme les gestionnaires d'actifs ou les planificateurs des immobilisations, les groupes d'utilisateurs et le personnel d'exploitation, d'entretien et de gestion de l'énergie).
- Assurer l'éducation de base sur la décarbonisation du bâtiment, y compris une explication du calcul des émissions de GES, de l'IDET et de l'ITCE, et de la raison pour laquelle les résultats devraient varier dans le temps en fonction de divers facteurs réglementaires et d'émissions du réseau.
- Examiner les besoins en matière d'entretien du bâtiment et de remplacement de l'équipement déterminés lors de l'étude du site et discuter du plan d'immobilisations existant pour le bâtiment et l'entretien, les réparations, les remplacements et les mises à niveau prévus.
- Faire un remue-méninges, une description et un examen qualitatif des mesures de réduction des émissions de GES et de l'énergie en vue d'une analyse plus approfondie.

- Indiquer les avantages non énergétiques ou qualitatifs (p. ex. l'amélioration du confort thermique, la pérennité, les possibilités d'exposition et d'éducation, etc.) qui devraient soutenir la prise de décision.
- Promouvoir les mesures préférées et éliminer les mesures indésirables selon leur faisabilité et leur compatibilité avec le site et les besoins du promoteur.

Bien qu'il puisse être utile que certaines analyses au niveau des mesures soient effectuées avant le premier atelier de l'étude, cela n'est pas obligatoire.

Étape 4 : Analyse au niveau des mesures

L'équipe d'étude devra déterminer le potentiel de réduction des émissions de GES et de l'énergie, et le coût d'immobilisations de chaque mesure déterminée au cours de l'atelier de conception (ou devant être étudiée) en utilisant les techniques d'analyse énergétique et les procédures d'élaboration de l'avant-métré appropriées. Consultez la troisième partie qui fournit une liste de sources d'information potentielles.

Les autres avantages non énergétiques ou qualitatifs cernés lors de l'atelier doivent également être documentés pour chaque mesure et utilisés pour soutenir la prise de décision.

Exigences minimales

À tout le moins, les mesures suivantes doivent être analysées :

- Changement de combustible dans tout le bâtiment pour remplacer les combustibles fossiles (y compris les charges de traitement);
- Production d'électricité renouvelable sur place (p. ex. géothermique, panneaux photovoltaïques¹²);
- Pour toutes les composantes du bâtiment qui doivent être remplacées pendant la période d'étude (répertoriées pendant l'étude du site ou dans l'évaluation de l'état du bâtiment), au moins une solution de rechange améliorée doit être étudiée, lorsque cela est possible. Par exemple, si les fenêtres doivent être remplacées pendant la période d'étude, au moins une mesure d'amélioration des fenêtres doit être explorée.

La description et la documentation de chaque mesure étudiée doivent porter sur :

¹² Pour les systèmes d'énergie renouvelable où un excédent d'énergie est produit par rapport à l'énergie utilisée (sur une base horaire) et exporté vers le réseau, les émissions évitées peuvent être calculées en utilisant un facteur d'émission marginal du réseau électrique au lieu d'un facteur d'émission moyen du réseau. Consultez le Classeur de la norme du bâtiment à carbone zéro (Classeur du BCZ-Design v2) du Conseil du bâtiment durable du Canada pour connaître les facteurs d'émissions marginaux régionaux actuels (lien fourni dans la troisième partie). Des renseignements supplémentaires sur les facteurs d'émissions marginaux sont publiés dans le document de The Atmospheric Fund intitulé *A Clearer View on Ontario's Emissions*, [accessible ici](#) (en anglais seulement).

- la portée ou la conception globale de la mesure, y compris l'équipement important concerné par la mesure, et suffisamment de détails pour comprendre la complexité systémique de la mesure (p. ex. des schémas et des sélections d'équipement);
- les hypothèses formulées pour analyser la mesure;
- le potentiel annuel de réduction des émissions de GES de la mesure;
- l'IDET, l'IE et/ou les économies par rapport aux valeurs de référence;
- le coût d'immobilisations pour mettre en œuvre la mesure à l'année zéro de l'étude (corrigé en fonction de l'inflation)¹³;
- les mesures ou les systèmes qui sont interdépendants ou qui dépendent les uns des autres pour bien fonctionner;
- la stratégie de mise en œuvre (y compris les limites, le cas échéant) applicable à la mesure spécifique;
- la mise en service (commissioning), les mesures et les vérifications potentielles ainsi que d'autres considérations pertinentes relatives à la mise en œuvre.

En plus de la modélisation des mesures énergétiques, des stratégies de conservation de l'eau potable doivent également être cernées et quantifiées.

La précision (et les détails de conception connexes préparés) du calcul des coûts d'immobilisations dans l'analyse au niveau de la mesure devrait généralement se situer dans une plage de ± 20 à 25 %, ce qui se traduit par une estimation des coûts d'immobilisations de catégorie C de l'Institut canadien des économistes en construction.

Les techniques d'analyse des mesures nécessitent souvent des outils supplémentaires au-delà de ce qui est offert au départ dans les logiciels d'analyse horaire. Par exemple, les systèmes géothermiques en boucle fermée ne sont pas faciles à analyser dans les outils de modélisation les plus utilisés (p. ex. eQUEST, IES, Energy Plus), ce qui entraîne souvent la nécessité d'effectuer une analyse avec d'autres outils (p. ex. GLD ou TRNSYS). Lorsque des logiciels ou des outils d'analyse distincts sont requis pour atteindre le niveau de précision souhaité pour l'étude, ils doivent être utilisés et documentés de manière appropriée.

¹³ Pour les mesures qui devraient nécessiter une période de construction de plus d'un an, l'équipe d'étude peut utiliser un coût annuel moyen (c.-à-d. le coût total divisé par le nombre d'années de la période de construction) plutôt qu'un coût exact pour chaque année de la période de construction, afin de simplifier le calcul du coût de l'année zéro.

Pratiques exemplaires et recommandations

Mesures étudiées

Le **tableau 2** énumère une liste de mesures susceptibles d'être explorées dans le cadre d'une analyse solide de la décarbonisation. Veuillez noter que cette **liste n'est pas exhaustive** et que l'équipe d'étude peut cerner d'autres mesures que celles énumérées ci-dessous.

Tableau 2 : Liste des mesures potentielles à étudier

Systèmes de construction	Mesures potentielles à étudier
Charges axées sur l'utilisateur (p. ex. l'éclairage)	<ul style="list-style-type: none">• Technologie à DEL (intérieur et extérieur).• Commande de l'éclairage naturel et de l'intensité lumineuse.• Éclairage direct ou éclairage adressable pour les besoins d'éclairage personnalisés des occupants.• Appareils et équipements informatiques Energy Star^{MD}.• Aménagement amélioré des salles de serveurs (p. ex. allées chaudes et allées froides).
Enveloppe/installation	<ul style="list-style-type: none">• Réfection ou recouvrement des murs (augmentation du niveau d'efficacité de l'isolation).• Amélioration de l'isolation des toits, y compris les options exigeant des modifications des intersections entre le toit et les murs (p. ex. les parapets) pour permettre l'installation d'une isolation supplémentaire au-delà des quantités actuelles.• Systèmes de vitrage et d'encadrement à haute performance pour les portes, les fenêtres et les puits de lumière, en particulier les fenêtres avec des revêtements à faible émissivité, des triples vitrages, des remplissages au gaz rare et des systèmes d'encadrement à rupture thermique renforcée ou utilisant des matériaux non métalliques (p. ex. fibre de verre).• Étanchéité à l'air à l'intérieur et à l'extérieur des façades.• Amélioration de l'isolation des murs de fondation sous le niveau du sol (en particulier lorsque le paysage adjacent sera de toute façon perturbé).

Systèmes de construction	Mesures potentielles à étudier
Systèmes CVC – installation	<ul style="list-style-type: none"> • Révision du zonage du bâtiment : aménagement de l'espace, changements fondamentaux apportés à la stratégie de CVC. • Ventilation naturelle, fenêtres mobiles, effet d'atrium ou de cheminée. • Tube à labyrinthe ou géothermique pour le préconditionnement de l'air d'appoint de la ventilation. • Ventilation à la demande (p. ex. capteurs de CO₂). • Ventilation sous plancher ou par déplacement d'air. • Systèmes dédiés d'alimentation en air extérieur avec volume d'air variable. • Récupération d'énergie au moyen de plusieurs technologies, notamment de roues thermiques ou d'enthalpie, de systèmes à flux inversé, de refroidisseurs à récupération d'énergie, de la chaleur résiduelle des voûtes électriques, de la redistribution de l'énergie par thermopompe, etc. • Stratégie de chauffage et de refroidissement à température ambiante et à faible puissance (p. ex. poutres thermiques, réfrigérant à débit variable, ventilo-convecteurs « surdimensionnés » à moteur à commutation électronique). • Préchauffage à l'énergie solaire thermique des systèmes de ventilation (p. ex. capteur solaire) et des systèmes thermiques (p. ex. eau chaude par chauffe-eau solaire).
Systèmes CVC – production	<ul style="list-style-type: none"> • Thermopompes à air évoluées (p. ex. celles qui conviennent aux climats froids). • Thermopompes géothermiques (p. ex. à circuit fermé ou ouvert, le cas échéant) • Chaudières électriques auxiliaires
Systèmes d'énergie renouvelable sur place	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie solaire (c.à.d. des panneaux photovoltaïques) sur les toits, les auvents de stationnement et les systèmes intégrés de bâtiment. • Pile à hydrogène ou à combustible (dans des configurations traditionnelles ou de production combinée de chaleur et d'électricité). • Systèmes de stockage d'énergie par batterie pour tirer parti de la variation des émissions du réseau. • Énergie éolienne et microcentrale hydroélectrique, le cas échéant.

Systèmes de construction	Mesures potentielles à étudier
Charges de traitement¹⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des installations de production de glace et récupération de chaleur (pour les patinoires). • Récupération de chaleur industrielle personnalisée (pour les piscines). • Récupération de la chaleur des eaux de drainage (pour les grandes charges d'eau chaude domestique collectées). • Ventilateurs à vitesse variable et récupérateurs de chaleur des unités écologiques (cuisines).
Stockage/séquestration du carbone¹⁵	<ul style="list-style-type: none"> • Biomatériaux d'isolation ou matériaux d'isolation à séquestration de carbone (p. ex. la cellulose). • Matériaux structurels et de finition en bois homologués FSC. • Équipement de séquestration de carbone à grande échelle (p. ex. Pond Technologies).

Une étude solide envisage également une série d'options de remplacement pour chaque mesure (p. ex. plus d'une seule approche pour la fourniture d'un système CVC à faible puissance) et des niveaux de rendement croissants pour la même mesure générale (p. ex. un système dédié d'alimentation en air extérieur avec deux ou trois moyens de récupérer la chaleur ou l'énergie afin d'améliorer l'efficacité).

Analyse des mesures

La pratique exemplaire pour l'analyse des mesures est d'embaucher une équipe d'étude ayant une vaste expérience et pouvant fournir une analyse financière et énergétique appropriée des mesures déterminées. L'équipe doit réunir des experts qui comprennent les contraintes et les possibilités de conception ainsi que les préoccupations liées à la science du bâtiment et qui peuvent formuler des hypothèses appropriées de modélisation et de calcul des coûts des travaux suffisants pour atteindre le niveau de précision attendu pour l'étude.

Les mesures énergétiques et de GES étudiées au niveau de la mesure doivent inclure les éléments suivants :

- la réduction totale et en pourcentage des émissions par rapport à l'année de référence¹⁶ (tonnes d'éq. CO₂ ou %);
- l'intensité des gaz à effet de serre (IGES) (tonnes d'éq. CO₂/m²);
- l'intensité énergétique (IE) (kWh/m²);

¹⁴ Voir les liens vers les ressources d'orientation en matière de modélisation pour les charges de processus de la fabrication de glace et de la piscine.

¹⁵ Pas nécessaire pour le modèle énergétique.

¹⁶ L'année de référence correspond à une année comptant les 12 mois les plus récents de données consécutives et fiables qui représentent une année typique d'exploitation de l'installation sans changement important. Le premier mois de l'année de référence ne doit pas précéder de plus de cinq ans la date de présentation de la demande complète du promoteur du projet.

- l'intensité de la demande en énergie thermique (IDET) (kWh/m²).

Les mesures de conservation de l'eau devraient comprendre :

- la consommation d'eau de base des appareils sanitaires et des raccords (litres par chasse d'eau ou litres par minute);
- la réduction totale et en pourcentage de la consommation d'eau par rapport à l'année de référence (m³ ou %).

À ce stade, les paramètres financiers à utiliser dans le cadre de l'analyse des mesures doivent inclure :

- le coût d'immobilisations (à la fois le coût d'immobilisations absolu et différentiel);
- les économies de coûts d'exploitation (économies d'énergie et de carbone, économies de coûts d'entretien);
- la période de récupération simple et la valeur actualisée nette (lorsque cela est pertinent pour le promoteur du projet);
- les autres sources de financement pour des mesures spécifiques.

Les techniques d'optimisation et de visualisation des résultats assistées par ordinateur (p. ex. les schémas coordonnés parallèles) sont souvent utilisées pour étudier et résumer les résultats de plusieurs ou de toutes les combinaisons de mesures comme une étape intermédiaire vers la formulation de recommandations complètes au niveau du bâtiment. Ces techniques peuvent être très utiles pour aider les équipes d'étude à cerner les paramètres et les mesures clés nécessaires pour atteindre les objectifs de réduction de la consommation énergétique et des émissions de GES. Ces techniques, lorsqu'elles sont employées, doivent être expliquées clairement au promoteur du projet. En outre, il faut discuter de leur valeur pour le processus global.

Étape 5 : Scénarios de réduction des émissions de GES à long terme et analyse de l'ensemble des mesures

Au cours de cette phase, l'équipe de conception rassemblera les mesures en ensembles pour chaque scénario de réduction des émissions de GES à long terme et effectuera une analyse technique et financière pour déterminer l'efficacité de chacun d'eux. L'analyse doit comprendre une comparaison des coûts d'immobilisations différentiels et du cycle de vie pour les autres ensembles du scénario de « rendement minimal » de réduction des émissions de GES à long terme (voir la première partie).

Exigences minimales

La documentation relative à l'analyse du scénario et du plan doit au moins inclure :

- la liste complète des mesures qui composent le ou les scénarios et la justification de leur inclusion dans l'ensemble. Les descriptions des mesures ou des systèmes qui sont interdépendants ou dépendants les uns des autres pour une exploitation réussie;
- une comparaison et une discussion des mesures essentielles de réduction des émissions de GES et des paramètres financiers (comme indiqué ci-dessous);
- un résumé des avantages non énergétiques ou qualitatifs de l'ensemble de mesures en s'appuyant sur l'analyse au niveau de la mesure;
- les résultats d'une analyse de la sensibilité du ou des scénarios étudiés au moyen des facteurs suivants :
 - **Prix du carbone** : L'équipe d'étude doit clairement énoncer et justifier les futures hypothèses de prix du carbone utilisées dans l'analyse de sensibilité. Les données actuelles de projection des prix du carbone sont différentes dans chaque province. Consultez la troisième partie pour obtenir des références utiles sur le prix anticipé du carbone au moins jusqu'en 2030.
 - **Facteurs de projection des émissions du réseau** : L'analyse de sensibilité aux facteurs d'émission du réseau doit porter sur les années cibles et évaluer l'incidence des émissions du réseau sur la réalisation des objectifs.

Puisque l'étude porte sur une longue période, les changements apportés aux réseaux électriques provinciaux peuvent avoir une incidence importante sur les réductions d'émissions potentielles. On s'attend à ce que l'équipe d'étude utilise les facteurs de projection des émissions du réseau (au moins au niveau provincial, territorial ou régional). L'équipe d'étude doit clairement documenter et fournir des hypothèses pour les facteurs de projection des émissions du réseau de base.

Consultez la troisième partie pour obtenir les sources potentielles d'information sur les facteurs de projection des émissions du réseau.

Lors de l'analyse du rendement des différents ensembles qui atteignent les seuils de réduction des émissions de GES de 50 % et 80 % décrits ci-dessus, l'équipe d'étude doit documenter les paramètres énergétiques et de GES suivants à l'aide d'un modèle énergétique :

- la réduction totale et en pourcentage des émissions opérationnelles de GES¹⁷ par rapport à l'année de référence¹⁸ (y compris la production énergétique sur place);
- l'intensité des gaz à effet de serre (IGES) (tonnes d'éq. CO₂/m²);
- l'intensité de la demande en énergie thermique (IDET) (kWh/m²);
- l'intensité énergétique (IE) (kWh/m²).

L'équipe d'étude doit documenter les paramètres financiers suivants pour chaque ensemble :

- la comparaison des coûts d'immobilisations absolus et différentiels de l'ensemble de « rendement minimal » avec tout autre ensemble recommandé sur un horizon de planification des immobilisations sur vingt ans (tous les montants en dollars sont corrigés en fonction de l'année de référence de l'étude);
- les coûts d'exploitation (y compris les coûts d'entretien, d'énergie et de carbone);
- le coût différentiel sur le cycle de vie (CDCV) par rapport à l'ensemble de « rendement minimal » (en dollars) sur au moins vingt ans;
- le coût sur la période de l'étude par tonne de carbone réduit (CDCV/tonne d'éq. CO₂).

Processus d'analyse du coût du cycle de vie (ACCV)

L'analyse du coût du cycle de vie vise à déterminer la rentabilité des mesures présentées dans l'étude. Par conséquent, il faut suivre les étapes suivantes lors de la réalisation d'une ACCV pour chaque option :

- L'analyse du coût du cycle de vie doit commencer à l'année prévue pour l'achèvement du premier grand projet et s'étendre sur au moins vingt ans au-delà de ce moment.
- Le coût du cycle de vie doit prendre en compte :
 - les coûts d'immobilisations, y compris les coûts essentiels et accessoires (c.à.d. les coûts de conception, d'ingénierie et de construction);
 - les coûts d'exploitation et d'entretien (y compris les réparations et le remplacement prévus de l'équipement);

¹⁷ Les facteurs d'émission doivent être cités correctement en référence (y compris toute hypothèse relative aux projections d'émissions du réseau).

¹⁸ Il doit s'agir de la même année de référence que celle utilisée dans l'analyse au niveau de la mesure.

- le coût anticipé de l'énergie et du carbone;
- les financements externes offerts (incitatifs, subventions, etc.)¹⁹;
- la valeur résiduelle à la dernière année de la période d'étude en utilisant (au moins) un amortissement linéaire;
- les hypothèses relatives à la valeur temps de l'argent (p. ex. taux d'intérêt, d'inflation, d'actualisation) examinées et approuvées aux fins de l'étude par le promoteur du projet.
- Les sources et la logique des calculs de conversion d'énergie, des tarifs des services publics, des coûts de l'ACCV et des hypothèses de prix du carbone doivent être clairement documentées et être alignées sur les pratiques exemplaires de l'industrie (consultez la [troisième partie](#) pour obtenir de plus amples renseignements).

Pratiques exemplaires et recommandations

Voici une liste de mesures énergétiques et de GES qui peuvent être utilisées pour une prise de décisions éclairées :

- Bilan carbone zéro annuel sur place;
- Changement de la période de pointe de la demande d'électricité pour le bâtiment (pointe en kW, été et hiver);
- Répercussions en carbone intrinsèque d'activités de rénovation en profondeur (tonnes d'éq. CO₂);
- Répercussions en amont des émissions de GES de l'utilisation de combustibles fossiles (tonnes d'éq. CO₂).

En outre, le promoteur du projet peut tirer profit des analyses de sensibilité du rendement des mesures par rapport à d'autres facteurs, notamment :

- le coût d'immobilisations;
- le coût de l'énergie;
- l'indice d'actualisation de la construction et des services publics;
- la variation des hypothèses relatives à la valeur temps de l'argent (p. ex. inflation, taux d'actualisation);
- les facteurs d'émission du potentiel de réchauffement de la planète (PRP) sur vingt ans.

Les méthodes de sensibilité financière multiparamètres, comme la méthode Monte-Carlo, peuvent être un moyen approprié de tester la sensibilité des ensembles de mesures aux variations des paramètres financiers. L'équipe d'étude doit expliquer en détail les conclusions et les avantages d'une telle analyse au promoteur du projet.

¹⁹ Le financement externe confirmé devrait être listé séparément si le promoteur du projet le juge nécessaire. Si désiré, le financement futur peut être inclus dans une analyse de sensibilité.

Bien que cela soit peu probable, s'il n'y a pas d'options recommandables permettant d'atteindre une réduction de 50 % par rapport au niveau de référence au cours de la période d'étude de 10 ans, un exposé supplémentaire peut être inclus dans le rapport d'étude expliquant les raisons et les facteurs clés empêchant la réalisation de l'objectif minimum.

Étape 6 : Atelier décisionnel

L'objectif de l'atelier décisionnel est d'examiner les résultats de l'analyse relative aux mesures et aux installations et de parvenir à un consensus sur le déploiement de scénarios de réduction des émissions de gaz à effet de serre à inclure dans le rapport final. Une fois que le ou les scénarios de réduction des GES ont été retenus, les participants à l'atelier peuvent discuter de la manière de mettre en œuvre le ou les ensembles de mesures à court, moyen et long terme afin d'harmoniser les considérations relatives aux immobilisations aux objectifs de réduction des GES et de rendement financier à long terme.

Exigences minimales

Organiser et documenter un atelier décisionnel avec l'équipe d'étude et les principales parties prenantes du projet qui aborde les points mentionnés ci-dessus.

Pratiques exemplaires et recommandations

Les étapes importantes de l'atelier sont les suivantes :

- Présenter des analyses des émissions de GES et les analyses financières pour chaque scénario ainsi que des options et des analyses préliminaires pour regrouper les mesures dans chaque ensemble.
- Examiner les avantages non énergétiques et qualitatifs de chaque scénario.
- Veiller à ce que le promoteur du projet et l'équipe d'étude conviennent des hypothèses et des paramètres décisionnels clés.
- Parvenir à un consensus sur l'analyse et se mettre d'accord sur les mesures de réduction des émissions de GES à long terme qui seront pleinement énoncées dans le rapport final.
- Examiner les scénarios potentiels de déploiement du ou des ensembles associés aux scénarios de réduction des émissions de GES à long terme choisis, et discuter des questions relatives à la faisabilité et des contraintes financières qui ont une incidence sur les délais de mise en œuvre des mesures de réduction des émissions de GES.

Étape 7 : Plan des immobilisations ou rapport final

Cette étude doit être présentée sous la forme d'un rapport final. Le rapport doit présenter les scénarios de réduction des émissions de GES à long terme qui permettent au bâtiment d'atteindre les objectifs de réduction requis dans les délais impartis. Il doit également expliquer comment les autres mesures et options au niveau du bâtiment ont été étudiées et discutées avec les parties prenantes dans le cadre du processus qui a conduit à la sélection de la ou des mesures privilégiées.

Exigences minimales

À tout le moins, l'équipe d'étude doit préparer un plan d'immobilisations décarbonisées et une grille de comparaison composée d'un tableau des flux de trésorerie et des investissements en immobilisations correspondant à la période d'étude (p. ex. 20 ans, 40 ans, etc.) et à la granularité (p. ex. annuel, 5 ans, 10 ans), comme souhaité par le promoteur du projet pour chaque mesure de réduction des émissions de GES à long terme.

De plus, l'équipe d'étude doit préparer un résumé final de chacune des étapes de l'étude ci-dessus, y compris les résultats de la conception, de la modélisation énergétique, de la planification des immobilisations et du calcul des coûts. Le rapport doit être organisé de manière logique et respecter chacune des exigences énumérées dans le cadre du déroulement anticipé présenté dans ce document. Le rapport final doit inclure toutes les hypothèses et limites associées aux étapes du travail ainsi qu'une annexe contenant les renseignements suivants :

- les rapports d'étude du site : évaluation de l'état du bâtiment et étude des systèmes énergétiques;
- le rapport de synthèse sur l'étalonnage du modèle;
- la description des mesures, y compris toute donnée de référence sur la conception (relevés de quantité, renseignements sur la sélection de l'équipement, diagramme de systèmes, etc.);
- les analyses de la consommation énergétique, des émissions de GES et des coûts à l'échelle de la mesure et du bâtiment qui ne conviennent pas au corps du rapport principal;
- l'estimation des coûts d'immobilisations : coût du rapport d'un expert-conseil;
- tout autre document de référence.

Pratiques exemplaires et recommandations

La [troisième partie](#) de ce guide comprend un exemple de table des matières (plan) pour un rapport de synthèse final.

Le promoteur du projet devrait envisager d'utiliser le rapport comme un produit livrable pour d'autres volets de financement potentiels (le rapport final devrait s'aligner sur d'autres mesures incitatives, subventions ou programmes de financement, de sorte que le promoteur du projet puisse utiliser directement l'étude pour répondre aux exigences de ces programmes).

Une présentation finale des résultats à toutes les parties prenantes est recommandée pour clore le processus et amorcer la transition vers la phase suivante du travail (p. ex. les demandes de financement, la conception schématique, etc.).

Partie 3 : Définitions et références

Termes et définitions clés

Terme	Définition	Lien/référence
Réductions cumulatives des émissions de GES	Également appelées émissions accumulées, il s'agit de la somme des émissions de GES sur une période donnée. Les émissions accumulées représentent un concept important, car deux scénarios prévoyant des réductions identiques (p. ex. une réduction de 80 % dans les vingt ans) peuvent avoir des émissions cumulatives différentes en fonction du délai de mise en œuvre de mesures spécifiques.	
ASHRAE 211	La norme 211 <i>Standard for Commercial Building Energy Audits</i> définit des méthodes conformes de réalisation des audits et de production des rapports énergétiques pour les bâtiments commerciaux.	La norme 211-2018 est accessible ici (en anglais seulement).
ASTM E2018 – 15	Le <i>Guide standard pour les évaluations de l'état des propriétés : processus d'évaluation de l'état des propriétés de base</i> est destiné à être utilisé sur une base volontaire par les parties qui souhaitent obtenir une évaluation de référence de l'état des propriétés de l'immobilier commercial.	La norme ASTM E2018-15 est accessible ici .
ASHRAE Guideline 14	La ligne directrice <i>Measurement of Energy, Demand, and Water Savings</i> définit les exigences d'étalonnage du modèle énergétique.	Guideline 14-2014 – Measurement of Energy, Demand, and Water Savings (en anglais seulement)
CNÉB	Le <i>Code national de l'énergie pour les bâtiments</i> du gouvernement du Canada définit les exigences techniques pour la conception et la construction écoénergétiques de bâtiments	Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2020

Terme	Définition	Lien/référence
	neufs et d'agrandissements.	Le code énergétique pour votre province ou votre territoire
BC Hydro	BC Hydro offre des conseils et des outils sur les ponts thermiques de l'enveloppe des bâtiments.	Commercial new construction (en anglais seulement)
Ville de Toronto	Les Green Standard Energy Modelling Guidelines de Toronto proposent également des conseils et des outils pour l'enveloppe des bâtiments.	Energy Modelling Guidelines Version 4 – City of Toronto (en anglais seulement)
Amélioration de la fabrique de glace	Les installations comportant une fabrique de glace doivent tenir compte de cette charge de traitement essentielle. Pour garantir l'atteinte de résultats précis, il faut modéliser les améliorations apportées à la fabrique de glace et aux installations connexes. Les documents de référence à droite fournissent des conseils sur la modélisation et les fabriques de glace.	<p>Feuille de route vers des patinoires intérieures à consommation nette zéro</p> <p><i>Fonds Municipal Vert</i></p> <p>L'étude de cas (en anglais seulement) de l'International Building Performance Simulation Association (IBPSA) sur la modélisation d'un centre communautaire comprenant une piscine et une patinoire couvre toutes les charges importantes dont il faut tenir compte.</p>
Récupération de la chaleur – processus sur mesure	Comme les fabriques de glace, les piscines doivent également être prises en compte lors de la modélisation des charges de traitement. La référence à droite fournit des conseils sur la modélisation des piscines.	Modelling indoor swimming pools (en anglais seulement)
Intensité des gaz à effet de serre (IGES)	Les émissions de gaz à effet de serre totales associées à la consommation d'énergie sur le site du bâtiment. Elle est exprimée en kilogrammes d'équivalent CO ₂ par mètre carré (kg éq.CO ₂ /m ²) et comprend les émissions associées à la production d'électricité provinciale.	Définition du Conseil du bâtiment durable du Canada dans le document Arguments en faveur du bâtiment à carbone zéro
Intensité	La somme de toute l'énergie du site (et pas	Définition du Conseil du bâtiment durable du Canada

Terme	Définition	Lien/référence
énergétique (IE)	l'énergie à la source) consommée sur place (p. ex. l'électricité, le gaz naturel, la chaleur collective), y compris toutes les charges de procédés, divisée par la superficie de plancher brute du bâtiment.	dans le document Norme du bâtiment à carbone zéro
Intensité de la demande en énergie thermique (IDET)	La perte de chaleur annuelle par l'enveloppe et la ventilation d'un bâtiment, après avoir tenu compte de tous les gains et pertes passifs, par unité de superficie de plancher modélisée.	Définition du Conseil du bâtiment durable du Canada dans le document Norme du bâtiment à carbone zéro
Coût d'immobilisations absolu	Le coût de base plus le coût différentiel pour atteindre l'avantage énergétique de la mesure ou du plan. Le coût de base doit être déterminé selon l'évaluation de l'état du bâtiment.	
Coût d'immobilisations différentiel	L'augmentation ou la diminution du coût de la construction par rapport aux coûts de base définis en fonction de l'évaluation de l'état du bâtiment.	
Carbone opérationnel	Les émissions de carbone associées à l'énergie consommée pour exploiter le bâtiment.	Définition du Conseil du bâtiment durable du Canada dans le document Norme du bâtiment à carbone zéro : Design version 3
Coût différentiel sur le cycle de vie (CDCV)	La valeur actualisée nette (VAN) de l'augmentation ou de la diminution des coûts totaux par mètre carré pour la construction, l'exploitation et l'entretien au cours de la période d'étude par rapport au plan de « rendement minimal » (ou autre base de référence).	Définition adaptée du document Arguments en faveur du bâtiment à carbone zéro du Conseil du bâtiment durable du Canada
Coût sur le cycle de vie par tonne de carbone réduit (CDCV/tonne d'éq. CO₂)	La valeur actualisée nette (VAN) de l'augmentation ou de la diminution des coûts totaux par tonne d'équivalents CO ₂ évitée par rapport au plan de « rendement minimal ».	Définition adaptée du document Arguments en faveur du bâtiment à carbone zéro du Conseil du bâtiment durable du Canada
Valeur résiduelle	La valeur résiduelle d'un système (ou d'une	Voir la section intitulée « Residual Values » dans le

Terme	Définition	Lien/référence
	composante) est sa valeur restante à la fin de la période d'étude ou au moment de son remplacement pendant la période d'étude.	guide sur l'analyse du coût du cycle de vie du Whole Building Design Guide, visitez cette page Web (en anglais seulement)
Bilan carbone zéro annuel sur place	Ce bilan représente les émissions nettes de la somme du carbone intrinsèque, du carbone opérationnel et des émissions évitées.	Définition du Conseil du bâtiment durable du Canada dans le document Norme du bâtiment à carbone zéro : Design version 3
Carbone intrinsèque	Les émissions de carbone associées aux matériaux et aux processus de construction pendant tout le cycle de vie d'un bâtiment. Celles-ci s'ajoutent aux émissions de carbone opérationnel.	Définition du Conseil du bâtiment durable du Canada dans le document Norme du bâtiment à carbone zéro : Design version 3
Répercussions sur les émissions de GES en amont	Il pourrait être envisagé d'étudier la consommation de gaz naturel par rapport aux fuites de méthane provenant de l'extraction, du traitement et de la distribution du gaz naturel. Le méthane, bien qu'il ait une courte durée de vie, présente un potentiel de réchauffement de la planète plus élevé que le dioxyde de carbone. Par conséquent, les répercussions potentielles sur les émissions de GES en amont pourraient être un élément important dans une analyse globale (c.à.d. lors du calcul des émissions liées au cycle de vie).	Une étude récente a décrit plus en détail les facteurs d'émission potentiels sur le cycle de vie en tenant compte des facteurs d'émission du réseau électrique sur le cycle de vie et des émissions liées au gaz naturel en amont : « Lifecycle greenhouse gas emissions from electricity in the province of Ontario at different temporal resolutions », L. Pereira et D. Posen, <i>Journal of Cleaner Production</i> , octobre 2020 (en anglais seulement).

Facteurs et hypothèses

Facteurs énergétiques et d'émissions de GES	Sources possibles/lignes directrices
Facteurs de conversion énergétique	<p>Tables de conversion d'unités d'énergie de la Régie de l'énergie du Canada La Régie de l'énergie du Canada offre une liste complète des facteurs de conversion.</p>
Facteurs d'émissions de GES	<p>Le Classeur de la norme du bâtiment à carbone zéro (Classeur du BCZ-Design v3) du Conseil du bâtiment durable du Canada est accessible ici Le Conseil du bâtiment durable du Canada a publié un classeur Excel qui résume les facteurs d'émission actuels pour les réseaux provinciaux (y compris les facteurs moyens et marginaux) ainsi que pour les combustibles fossiles courants. La calculatrice utilise principalement des facteurs tirés de deux sources :</p> <p>National Inventory Report (2018) du Canada est accessible ici (en anglais seulement) <i>Energy Star Portfolio Manager Technical Reference: Greenhouse Gas Emissions</i>, accessible ici (en anglais seulement)</p>
Émissions futures du réseau	<p>Régie de l'énergie du Canada, <i>Avenir énergétique du Canada 2016 : Offre et demande énergétiques à l'horizon 2040, données des annexes</i>, accessible ici La Régie de l'énergie du Canada publie annuellement ses prévisions d'émissions futures du réseau à l'échelle nationale et par province et territoire d'une année à l'autre.</p>
Facteurs d'émission marginaux	<p>Le Classeur de la norme du bâtiment à carbone zéro (Classeur du BCZ-Design v3) du Conseil du bâtiment durable du Canada est accessible ici Le classeur Excel résume les facteurs d'émission actuels pour les réseaux provinciaux (y compris les facteurs moyens et marginaux) ainsi que pour les combustibles fossiles courants.</p>
Valeur temps du carbone	<p>La valeur temps du carbone : Stratégies judicieuses pour accélérer les réductions des émissions Rédigée par CPA (Comptables professionnels agréés) Canada, cette publication explique comment accélérer les réductions des émissions de GES en s'attaquant aux facteurs de forçage du climat à court terme (FFCCT), soit les émissions qui ont une courte durée et qui contribuent fortement au réchauffement climatique.</p>

Prix des services publics et du carbone

Prix des services publics et du carbone	Sources possibles/lignes directrices
Consommation d'électricité	Fournisseur de services publics ou autorité énergétique
Demande d'électricité	Si elle est fournie sous forme de barème séparé
Gaz naturel	Fournisseur de services publics ou autorité énergétique
Eau	Fournisseur de services publics ou autorité énergétique
Propane	Fournisseur de services publics ou autorité énergétique
Diesel	Fournisseur de services publics ou autorité énergétique
Prix fictif du carbone	Il est recommandé que les études s'alignent sur le prix fictif du carbone établi par le document Stratégie pour un gouvernement vert du Canada, accessible ici
Prix du carbone (jusqu'en 2030)	Les études doivent tenir compte de l'augmentation prévue par le gouvernement fédéral du prix du carbone de 15 dollars par tonne à partir de 2023, pour atteindre 170 dollars par tonne en 2030. Vous trouverez tous les détails ici .
Prix du carbone (après 2030)	<p>À l'heure actuelle, le gouvernement fédéral n'a pas donné d'indications sur une éventuelle augmentation de la taxe sur le carbone après 2030. Le promoteur du projet doit faire des hypothèses raisonnables quant au prix du carbone après 2030 et documenter clairement ses hypothèses. Il est nécessaire de réaliser une analyse de sensibilité au prix du carbone, de sorte que différents scénarios de prix du carbone après 2030 soient envisagés. Exemples de différentes structures de prix du carbone qui pourraient être envisagées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prix fixe du carbone après 2030 (c.-à-d. aucune augmentation) • Augmentation continue de 15 \$/tonne chaque année jusqu'à la fin de la période d'étude

Coût du cycle de vie et ressources

Coût du cycle de vie	Sources possibles/lignes directrices
Méthodologie de l'ACCV	<p>2019 ASHRAE Handbook-HVAC Applications, chapitre 38, accessible ici (en anglais seulement)</p> <p>National Institute of Standards and Technology, NIST Handbook 135, <i>Life Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program</i>, édition 2020, accessible ici (en anglais seulement)</p> <p>Whole Building Design Guide. « Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) », accessible ici (en anglais seulement)</p>
Indice d'actualisation – Immobilisations	Compatible avec les taux du portefeuille du promoteur du projet pour les projets d'immobilisations ou les analyses du coût du cycle de vie du gouvernement fédéral (Scope of Work for Carbon Neutral Study Services-Life Cycle Costing Analysis)
Indice d'actualisation – Services publics	Compatible avec les taux du portefeuille du promoteur du projet pour les projets d'immobilisations ou les analyses du coût du cycle de vie du gouvernement fédéral (Scope of Work for Carbon Neutral Study Services-Life Cycle Costing Analysis)
Inflation/hausse des prix	Conformément aux taux du portefeuille du promoteur du projet pour les projets d'immobilisations ou à l'indice canadien des prix à la consommation, accessible ici
Taux d'actualisation	<p>Conforme aux taux du portefeuille du promoteur du projet pour les projets d'immobilisations ou aux analyses du coût du cycle de vie du gouvernement fédéral.</p> <p>On s'attend à ce que les mesures de réduction des émissions de GES à long terme figurant dans les demandes pour des projets d'immobilisations utilisent un taux d'actualisation préférentiel inférieur à 5 % (ce seuil correspond au taux d'actualisation décrit dans la stratégie du gouvernement fédéral décrit dans le document Stratégie pour un gouvernement vert : lignes directrices sur les biens immobiliers). Les promoteurs qui souhaitent utiliser un taux d'actualisation supérieur à 5 % doivent communiquer avec la FCM.</p> <p>Le <i>Guide de l'analyse coûts-avantages pour le Canada</i> du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada fournit également un taux d'actualisation pour le coût d'option du capital pour le gouvernement fédéral. De plus amples renseignements sur le <i>Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada</i> sont disponibles ici.</p>

Estimation des coûts et ressources

Estimation des coûts	Sources possibles/lignes directrices
Estimation des immobilisations	<i>Elemental Cost Analysis, Format, Method of Measurement, Pricing: Measurement of Buildings by Area and Volume</i> , accessible ici (en anglais seulement)
Entretien	Fourni par l'exploitant « Maintenance Costs », 2019. <i>ASHRAE Handbook-HVAC Applications</i> , chapitre 38, accessible ici (en anglais seulement) « Building Owners and Managers Association International », <i>Preventative Maintenance Guidebook : Best Practices to Maintain Efficient and Sustainable Buildings</i> , accessible ici (en anglais seulement)
Résiduel	Amortissement linéaire Agence du revenu du Canada, Biens amortissables et leurs taux correspondants, accessible ici

Annexe A : Exemple de plan du rapport

Vous trouverez ci-dessous un exemple de plan du rapport (adapté de la norme ASHRAE 211-2018).

Résumé

- a. Évaluation globale des données de référence et du rendement énergétique
- b. Économies et coûts totaux des mesures recommandées
- c. Tableau des mesures et des options recommandées, y compris les économies et les coûts
- d. Analyse du coût du cycle de vie (ACCV)

Introduction

- a. Portée de l'étude

Description du bâtiment

- a. Renseignements sur le bâtiment
- b. Enveloppe du bâtiment
- c. Système CVC
- d. Eau chaude domestique/chauffage de l'eau domestique
- e. Éclairage
- f. Charges de traitement et de branchement

Données historiques des services publics

- a. Résumé des données
- b. Structures tarifaires des services publics
- c. Données de référence
- d. Objectif et estimation des économies
- e. Répartition par utilisation finale

Analyse des mesures et des options

- a. Stratégie de modélisation énergétique
- b. Interaction des mesures
- c. Mesure et analyse
- d. ACCV
- e. Schémas de principe (le cas échéant)
- g. Résumé de l'atelier
- h. Mesures envisagées, mais non recommandées

Plan d'immobilisations visant à réduire les émissions de GES à long terme

- a. Résumé des mesures visant à réduire les émissions de GES à long terme et plan(s) d'immobilisations
- b. Grille comparative

Annexes

Annexe B : Exemple de scénario de réduction des émissions de GES à long terme

La figure 3 montre les caractéristiques quantitatives essentielles des scénarios de « rendement minimal », de « décarbonation agressive » et d'un « projet similaire » de réduction des émissions de GES à long terme pour un bâtiment communautaire en Ontario.

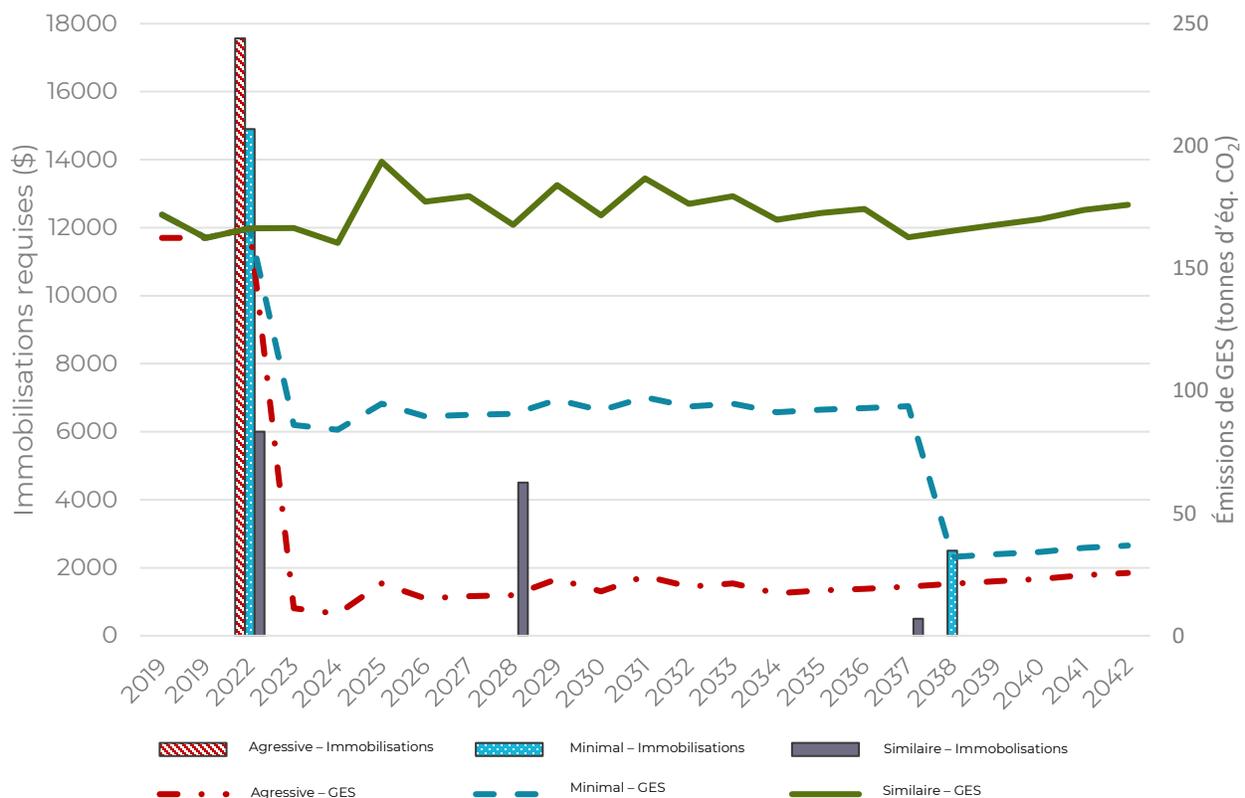


Figure 3: Exemple d'investissement en immobilisations et d'émissions annuelles de GES – Rendement minimal comparé à celui d'un projet similaire au cours d'une période de vingt ans

Dans cet exemple, les émissions de GES pour l'année de référence sont calculées comme une moyenne des émissions de GES du bâtiment en 2018 et 2019. Le scénario d'un « projet similaire » est fondé sur trois projets d'immobilisations en planification préliminaire pour effectuer un entretien essentiel et remplacer le système CVC en fin de vie. Les émissions de GES du scénario d'un « projet similaire » ne devraient pas diminuer en raison des projections actuelles selon lesquelles le facteur d'émission du réseau en Ontario augmentera. La sensibilité des réductions de GES au facteur de projection d'émissions du réseau est étudiée dans le cadre de l'étude (mais n'est pas présentée ici).

Dans le scénario de « rendement minimal », le premier grand projet comprend des travaux initialement prévus pour 2028 dans le scénario d'un « projet similaire » afin de réduire au minimum les perturbations et les temps d'arrêt dans l'utilisation du bâtiment tout en veillant à ce que les efforts de réduction de la charge ne soient pas réalisés après les mises à niveau du système CVC (ce qui permet de maintenir les coûts d'immobilisations globaux à un niveau bas). La situation aurait également pu être inversée : la mise en œuvre optimale et la moins perturbatrice du scénario de « rendement minimal » auraient consisté à répartir les travaux entre 2022 et 2028 de façon semblable au scénario d'un « projet similaire ». Le reste des travaux du « plan de rendement minimal » sera achevé en 2038 (lorsque les appareils sur le toit seront remplacés par des thermopompes à air).

Dans le scénario de « décarbonisation agressive », tous les travaux sont réalisés dans un seul projet.