



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Protocole de mesure et de vérification des rénovations écoénergétiques majeures pour les bâtiments résidentiels

Préparé par :

Dr Brock Conley, Ingénieur de recherche, immeubles et énergies renouvelables,
logements et bâtiments
Ressources naturelles Canada, CanmetÉNERGIE

2023.05.31

« CanmetÉNERGIE- Ottawa est à la tête du développement de solutions scientifiques et technologiques dans le domaine de l'énergie, au bénéfice de l'environnement et de l'économie des Canadiens. »



Clause de non-responsabilité :

Ni Ressources naturelles Canada ni aucun de ses employés ne fournit de garantie expresse ou implicite, ni n'assume de responsabilité légale quant à l'exactitude, l'exhaustivité ou l'utilité de son contenu. Toute référence dans le rapport à un produit, un processus, un service ou une organisation commerciale spécifique ne constitue pas nécessairement une approbation, une recommandation ou une préférence de la part de Ressources naturelles Canada. Les points de vue et les opinions des auteurs exprimés dans ce rapport ne sont pas nécessairement exprimés ou partagés par Ressources naturelles Canada.

Le financement de ce travail a été assuré par Ressources naturelles Canada dans le cadre du Programme pilote pour des quartiers plus verts.

Catalogue n° M154-161/2023F-PDF

ISBN 978-0-660-49744-0

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, tel que représenté
par le ministre des Ressources naturelles, 2023

Table des matières

1.	Introduction.....	1
1.1	Objectif.....	1
1.2	Champ d'application du protocole.....	1
2.	Données sur le bâtiment.....	2
3.	Observations finales.....	8
4.	Références.....	8
5.	Annexe A – Mesures et suivi.....	10
5.1	Consommation et production d'énergie.....	10
5.2	Confort thermique et qualité de l'air intérieur.....	12
5.3	Hygrothermique.....	13
6.	Annexe B – Vérification et analyse.....	15
6.1	Consommation et production d'énergie.....	15
6.2	Confort thermique et qualité de l'air intérieur.....	16
6.3	Durabilité de l'enveloppe du bâtiment.....	17

Tableaux et figures

Tableau 1 : Données sur les caractéristiques du bâtiment avant et après l'amélioration énergétique	2
Tableau 2 : Résumé du suivi et des mesures	7
Tableau 3 : Résumé du suivi de la consommation d'énergie.	11
Tableau 4 : Résumé du suivi du confort thermique et de la qualité de l'air.	13
Tableau 5 : Résumé de la surveillance hygrothermique et météorologique	14
Tableau 6 : Résumé de l'analyse du confort thermique et de la qualité de l'air	16
Tableau 7 : Valeurs d'indice et niveaux de croissance de la moisissure	17
Tableau 8 : Classes de sensibilité des matériaux au développement des moisissures	18

1. Introduction

1.1 Objectif

Le Protocole de mesure et de vérification (M&V) (ci-après le Protocole) a pour but de définir une norme pour quantifier l'impact des projets d'amélioration énergétique de grande envergure (AE), de créer un modèle pour les plans de suivi et de faciliter l'établissement de critères d'évaluation et de données uniformes et comparables pour les projets de rénovations écoénergétiques majeures dans les bâtiments résidentiels visés par la partie 9 et la partie 3 au Canada. Un protocole de M&V fournit aux gestionnaires de bâtiments, aux exploitants de bâtiments, aux ingénieurs chargés de la performance des bâtiments et aux chercheurs les informations nécessaires pour élaborer un plan de suivi et vérifier la performance d'une AE.

Ce protocole propose des **mesures** standard et avancées, ainsi que des **analyses** (énergie, confort thermique et enveloppe du bâtiment) et la **vérification** des performances des bâtiments avant et après leur amélioration. Avec une adoption plus large, davantage d'ensembles de données sur les AE peuvent saisir les mêmes informations, et les projets peuvent être directement comparés avec un effort minimal.

1.2 Champ d'application du protocole

Le champ d'application du protocole englobe des lignes directrices afin :

- d'établir des performances énergétiques et de qualité de l'environnement intérieur de référence ou avant l'amélioration;
- de mesurer la consommation énergétique (et la production, le cas échéant), la qualité de l'environnement intérieur et la performance hygrothermique des enveloppes après l'amélioration énergétique;
- d'identifier les indicateurs clés de performance (ICP) pour chaque bâtiment;
- de sélectionner le matériel approprié pour surveiller la consommation énergétique des bâtiments, le transport d'humidité et la qualité de l'environnement intérieur (QEI);
- d'analyser les données mesurées relatives à l'énergie, à l'humidité et à la qualité de l'air intérieur;
- de cataloguer les caractéristiques des bâtiments nécessaires à l'évaluation de l'efficacité des mesures de conservation de l'énergie (MCE);
- de recueillir des informations qualitatives et quantitatives avant et après l'amélioration énergétique concernant les caractéristiques et les performances des bâtiments;
- Fournir un exemple d'étude de cas d'une AE avec des données de M&V.

Le champ d'application ne comprend pas de directives sur les points suivants :

- Meilleure estimation des émissions de carbone (intrinsèques et opérationnelles) du bâtiment tout au long de son cycle de vie;
- Évaluation de l'accessibilité financière d'une amélioration énergétique de grande envergure;
- Les flux de travaux de construction, les détails et les calendriers;
- Enquêtes auprès des occupants;
- Informations sur les produits ou stratégies de conception pour des améliorations énergétiques de grande envergure, etc.

2. Données sur le bâtiment

Les caractéristiques du bâtiment répertoriées dans le tableau 1 doivent être documentées avant et après l'amélioration énergétique, et seront utilisées pour quantifier l'impact d'une amélioration énergétique de grande envergure. Les informations figurant dans le tableau 1 sont couramment saisies lors de la modélisation énergétique et peuvent être facilement exportées à partir du modèle. Toutefois, une description détaillée peut être source de valeur ajoutée.

Tableau 1 : Données sur les caractéristiques du bâtiment avant et après l'amélioration énergétique

Caractéristique	Avant l'amélioration énergétique	Après l'amélioration énergétique
Informations sur le bâtiment	<ul style="list-style-type: none">• Date de construction estimée• Estimation de la superficie au sol du bâtiment• Surface de plancher climatisée• Nombre d'étages• Orientation du bâtiment• Nombre de suites/occupants• Ville et adresse (facultatif)	<ul style="list-style-type: none">• Énumération de tous les changements apportés pour tenir compte des paramètres après l'amélioration énergétique
Évaluation de l'état du bâtiment	<ul style="list-style-type: none">• Importants travaux d'entretien de l'ensemble du bâtiment nécessaire au moment de la conception de l'amélioration énergétique	<ul style="list-style-type: none">• Entretien à effectuer après l'amélioration et délai estimé jusqu'à ce qu'une rénovation de grande envergure soit nécessaire

Toit et grenier	<ul style="list-style-type: none"> • Construction existante - matériaux et épaisseur • Azimut • Pente • Valeur R effective 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouvelle construction - matériaux et épaisseur • Azimut • Pente • Valeur R effective
Murs au-dessus du niveau du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Construction existante - matériaux et épaisseur • Valeur R effective • Surface estimée des murs au-dessus du niveau du sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouvelle construction - matériaux et épaisseur • Valeur R effective • Modification de la surface des murs au-dessus du niveau du sol, si applicable
Fondation, dalle et semelle	<ul style="list-style-type: none"> • Conditions actuelles • Défauts (p. ex., fissures ou dommages) • Limites structurelles • Assemblage et valeur U 	<ul style="list-style-type: none"> • Liste de toutes les tâches de réhabilitation et d'assainissement, si applicable • Nouvelle assemblage et valeur U
Fenêtres	<ul style="list-style-type: none"> • Construction des cadres et des fenêtres • Valeur U et coefficient d'apport par rayonnement solaire (CARS) • Rapport fenêtre/mur (RFM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouvelle construction des cadres et des fenêtres • Valeur U et CARS • RFM
Étanchéité à l'air	<ul style="list-style-type: none"> • Changements d'air mesurés par heure à 50 Pa (ACH50) selon ASTM E779, ASTM E1827-11, CGSB-149 ou norme équivalente. 	<ul style="list-style-type: none"> • ACH50 mesuré après les travaux d'amélioration selon ASTM E779, ASTM E1827-11 CGSB-149 ou une norme équivalente.
Ventilation	<ul style="list-style-type: none"> • Flux et taux d'échappement de la ventilation mécanique existante; ou ventilation passive incluse dans le bâtiment 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouveau flux et taux d'échappement de la ventilation mécanique; ou ventilation passive incluse dans le bâtiment

Chauffage	<ul style="list-style-type: none"> • Système de chauffage existant, y compris tous les paramètres applicables (par exemple, source de combustible, efficacité, capacité, spécifications, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouveau système de chauffage, y compris tous les paramètres applicables (par exemple, source de combustible, efficacité, capacité, spécifications, etc.)
Climatisation	<ul style="list-style-type: none"> • Système de climatisation existant, y compris tous les paramètres applicables (par exemple, source de combustible, efficacité, capacité, spécifications, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouveau système de climatisation, y compris tous les paramètres applicables (par exemple, source de combustible, efficacité, capacité, spécifications, etc.)
Eau chaude	<ul style="list-style-type: none"> • Système d'eau chaude domestique existant, y compris tous les paramètres applicables (par exemple, source de combustible, efficacité, capacité, spécifications, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouveau système d'eau chaude domestique, y compris tous les paramètres applicables (par exemple, source de combustible, efficacité, capacité, spécifications, etc.)
Contrôles	<ul style="list-style-type: none"> • Points de consigne et abaissements du thermostat • Système immotique pour les grands bâtiments 	<ul style="list-style-type: none"> • Points de consigne et abaissements du thermostat • Système immotique pour les grands bâtiments
Consommation d'énergie et émissions de GES liées à l'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie annuelle mesurée/estimée pour une période minimale d'un an (données des services publics ou mesurées) • Pour les charges constantes, des mesures ponctuelles ou à court terme sont acceptables • Les émissions de GES associées sont estimées à partir des facteurs d'émission figurant à l'annexe A 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie annuelle mesurée pendant au moins 1 an après l'amélioration • Pour les charges constantes, des mesures ponctuelles ou à court terme sont acceptables • Les émissions de GES associées sont estimées à partir des facteurs d'émission figurant à l'annexe A

Production d'énergie renouvelable	<ul style="list-style-type: none"> • Taille ou capacité (p. ex., réseau photovoltaïque) • Azimut • Pente • Quantité de production mesurée pour une période d'au moins un an 	<ul style="list-style-type: none"> • Taille ou capacité (p. ex., réseau photovoltaïque) • Azimut • Pente • Production mesurée pour une période d'au moins un an
Confort des occupants	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure de la température et de l'humidité intérieures conformément à l'annexe A ou par enquête auprès des occupants 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure de la température et de l'humidité intérieures conformément à l'annexe A
Qualité de l'air intérieur	<ul style="list-style-type: none"> • Polluants intérieurs mesurés conformément à l'annexe A 	<ul style="list-style-type: none"> • Polluants intérieurs mesurés conformément à l'annexe A

En plus des caractéristiques du bâtiment qui peuvent être répertoriées à partir des documents de conception existants du bâtiment et des évaluations énergétiques, il est recommandé de recueillir des données supplémentaires au moyen d'une surveillance continue. Le tableau 2 détaille la surveillance nécessaire à la vérification de la performance, du confort et de la durabilité de l'enveloppe du bâtiment. Les titres des tableaux subdivisent chaque mesure en fonction de sa nécessité, du nombre de mesures requises et de sa fréquence. Les titres des tableaux sont les suivants :

Catégorie : Type de surveillance et de collecte de données pour l'amélioration du bâtiment.

Sous-catégorie : Un sous-groupe de la catégorie de surveillance et de collecte de données.

Mesure : Mesure scientifique appliquée à l'évaluation des performances.

Unité : L'unité de mesure pour la mesure donnée.

Palier : Le palier de mesure et de vérification auquel chaque catégorie répond.

Le palier 1 représente la norme M&V qui se limite à l'énergie et aux conditions intérieures de l'ensemble du bâtiment.

Le palier 2 représente le M&V détaillé, qui comprend toutes les mesures du palier 1, le sous-comptage de la consommation d'énergie et l'évaluation approfondie de la qualité de l'environnement intérieur.

Le palier 3 représente le M&V avancé qui comprend toutes les mesures des paliers 1 et 2 avec une surveillance hygrothermique pour les assemblages au-dessus du niveau du sol et du toit et des mesures météorologiques sur le site.

Niveau : La résolution des données pour le projet. Le niveau unitaire signifie que chaque suite (IRLM) ou unité (immeubles résidentiels de faible hauteur) doit être mesurée pour une mesure donnée. Le niveau d'échantillonnage signifie qu'un échantillon représentatif de suites ou d'unités au sein d'un projet à plusieurs unités doit être mesuré pour la mesure donnée. Le niveau d'un projet signifie qu'il doit y avoir une mesure au niveau du projet pour la mesure donnée.

Mesuré ou dérivé : Précise la mesure est mesurée ou dérivée d'une autre collecte de données.

Fréquence minimale : La fréquence minimale suggérée à laquelle la mesure sera collectée. Lorsque les mesures ne sont pas susceptibles de fluctuer (c'est-à-dire qu'elles restent constantes), la surveillance peut être effectuée sur une courte période (quelques semaines ou quelques mois, par exemple). C'est ce qu'on appelle la *mesure ponctuelle*.

Tableau 2 : Résumé du suivi et des mesures

Catégorie	Sous-catégorie	Mesure	Unités	Palier	Niveau	Mesuré / dérivé	Fréquence min.
Énergie	Consommation d'électricité	Total du bâtiment et/ou de la suite	kWh	1	Unité	Mesure	Horaire
		Chauffage et climatisation des espaces	kWh	2	Unité	Mesure	Horaire
		ECD	kWh	2	Unité	Mesure	Horaire
		Ventilation	kWh	2	Unité	Mesure	Horaire
		Charges de base*	kWh	2	Échantillon	Mesuré / dérivé*	Mesure ponctuelle
	Carburant de remplacement	Total du bâtiment et/ou de la suite		1	Unité	Mesure	Horaire
	Production	PV sur place/autre	kWh	1	Unité	Mesure	Horaire
GES	Émissions	Opérations	kg _{CO2e}	1	Unité	Dériver**	Horaire
		Indirectes	Kg _{CO2e}	2	Unité	Dériver**	–
Qualité de l'environnement intérieur	Qualité de l'air	CO ₂	ppm	1	Échantillon	Mesure	Horaire
		Radon	pCi/L _{air}	2	Échantillon	Mesure	Une fois
		PM 2,5, PM 10	µg/m ³	2	Échantillon	Mesure	Quotidienne (moyenne)
		COV	ppm	2	Échantillon	Mesure	Quotidienne (moyenne)
	Confort thermique	Température intérieure	°C	1	Unité	Mesure	Horaire
		HR intérieure	%HR	1	Unité	Mesure	Horaire
Météo		Temp. extérieure	°C	2	Projet	Mesure	Horaire
		HR extérieure	%HR	2	Projet	Mesure	Horaire
		Vitesse et direction du vent	m/s et °	3	Projet	Mesure	Horaire
		Précipitations	mm	3	Projet	Mesure	Horaire
		Rayonnement solaire	W/m ²	3	Projet	Mesure	Horaire
Hygrothermique	Au-dessus du niveau du sol	Température du revêtement	°C	3	Échantillon	Mesure	Horaire
		Taux d'humidité du revêtement	%TH	3	Échantillon	Mesure	Horaire
		HR du revêtement	%HR	3	Échantillon	Mesure	Horaire
	Toit ou grenier	Température	°C	3	Échantillon	Mesure	Horaire
		Humidité relative (%)	%HR	3	Échantillon	Mesure	Horaire
		Taux d'humidité du bois	%TH	3	Échantillon	Mesure	Horaire

*Les charges de base englobent les charges d'éclairage et de branchement et peuvent être obtenues en soustrayant la somme de l'énergie utilisée pour la climatisation des locaux, la ventilation et l'eau chaude sanitaire de la consommation totale d'énergie.

**La dérivation des GES indirects et opérationnels et des équivalents de carbone est fournie à l'annexe B.

3. Observations finales

L'objectif de ce document est la mise en place d'un modèle de collecte et d'analyse de données pour les améliorations énergétiques de grande envergure des bâtiments résidentiels de faible hauteur. Ce protocole permet la mise en place d'un ensemble de données solides et comparables sur les améliorations énergétiques de grande envergure à travers les projets, et la vérification de l'efficacité des mesures d'économie d'énergie à l'aide d'une surveillance avant et après les améliorations.

En outre, le protocole propose des lieux de surveillance, des fréquences de mesure et des indicateurs clés de performance pour aider les ingénieurs, les architectes et les exploitants de bâtiments à réaliser avec succès la surveillance et la vérification des données relatives aux améliorations énergétiques de grande envergure.

Pour en savoir plus sur la mesure et la vérification des améliorations apportées aux bâtiments résidentiels, une description détaillée de chaque activité est fournie dans les annexes ci-jointes. Des ressources supplémentaires en matière de surveillance et de vérification sont disponibles auprès de l'IPMVP, de l'Efficiency Valuation Organization (Efficiency Valuation Organization, 2023), et de CalTRACK (CalTRACK, 2018).

Pour obtenir de plus amples renseignements et des conseils sur la surveillance et la vérification des améliorations énergétiques de grande envergure pour les bâtiments résidentiels, veuillez communiquer avec l'équipe du REEEP – Rénovation extérieure énergétique avec des éléments préfabriqués de CanmetÉNERGIE-Ottawa.

4. Références

American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. (2020). *ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA: American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. (2021). *ASHRAE Standard 160: Criteria for Moisture-Control Design Analysis for Buildings*. Atlanta, GA: American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. (2022). *ASHRAE Standard 62.2: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings*. Atlanta, GA: American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

CalTRACK. (2018). *CalTRACK Technical Documentation*. Retrieved from CalTRACK: <https://docs.caltrack.org/en/latest/index.html>

Efficiency Valuation Organization. (2023, March 13). *International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)*. Retrieved from Efficiency Valuation Organization Website: <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>

International Organization for Standardization. (2019). *Greenhouse gases - Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and report of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements*.

Natural Resources Canada. (2023, May 18). *Material Carbon Emissions Estimator (MCE2)*. Retrieved from Natural Resources Canada: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/material-carbon-emissions-estimator/24452>

5. Annexe A – Mesures et suivi

Cette section présente la surveillance de base nécessaire pour réaliser les activités de mesure et de vérification (M&V) avant et après l'amélioration des bâtiments résidentiels. Le protocole énumère trois activités principales à surveiller avant et après l'amélioration :

1. Consommation et production d'énergie;
2. Confort thermique et qualité de l'air intérieur;
3. Surveillance hygrothermique.

Ces paramètres sont utiles pour évaluer la consommation d'énergie et de gaz à effet de serre du bâtiment avant et après l'amélioration, le confort intérieur et la résilience thermique, ainsi que la résistance à l'humidité du bâtiment avant et après son amélioration.

5.1 Consommation et production d'énergie

L'énergie consommée par un bâtiment peut être suivie à partir des données des services publics ou des compteurs divisionnaires des utilisations finales de l'énergie dans le bâtiment. Les données détaillées fournies par les compteurs divisionnaires permettent de mieux comprendre le comportement des occupants et l'énergie utilisée par les charges individuelles. L'enregistrement des données relatives à l'importation (ou à l'exportation, le cas échéant) d'électricité et à l'équipement principal (par exemple, CVC, ventilation, ECD, panneaux photovoltaïques, etc.), ainsi qu'au compteur de gaz principal et à l'équipement de combustion de combustibles alternatifs (par exemple, gaz, mazout ou bois, etc.), le cas échéant, est essentiel pour l'évaluation de la performance énergétique du bâtiment.

En **résumé**, les objectifs de la surveillance d'énergie sont les suivants :

- Évaluer les économies d'énergie après l'amélioration en surveillant l'ensemble du bâtiment et en mesurant la consommation d'énergie de manière comparable et fiable;
- Vérifier que le bâtiment est conforme à la conception et à la modélisation; et
- Améliorer la mise en service du système de construction et diagnostiquer les défauts, les problèmes et la consommation d'énergie inefficace.

Lors de la **sélection du lieu de surveillance**, il est important de recueillir des informations qui peuvent être utilisées afin :

- d'établir une comparaison avec la modélisation de la performance des bâtiments (étalonnage du modèle);
- de calculer les économies d'énergie après l'amélioration (et les émissions de gaz à effet de serre associées);
- de capturer les conditions sur site qui peuvent être ignorées dans le cadre de la modélisation.

En vue d'établir un ensemble de données comparables et fiables sur la consommation d'énergie et de gaz à effet de serre, voici une liste de **lignes directrices pour la surveillance** :

- Mesurer la consommation totale d'énergie de l'ensemble du bâtiment et des suites, ainsi que toute production d'énergie sur place, afin de déterminer la consommation énergétique nette du bâtiment;
- Procéder à des mesures par compteurs divisionnaires au niveau du circuit et/ou par utilisation finale principale (ECD, chauffage, refroidissement, etc.) à l'aide d'un système de surveillance de la puissance et de transducteurs de courant;
- Saisir les types de combustibles et d'énergie pour chaque utilisation finale majeure afin de déterminer les émissions de carbone et le potentiel d'économie de carbone d'un bâtiment après l'amélioration;
- Mesurer la performance du bâtiment avant l'amélioration ainsi que les conditions météorologiques pendant une période d'au moins 12 mois, si possible. La performance du bâtiment peut être normalisée en fonction des conditions météorologiques afin de quantifier les améliorations apportées à l'efficacité énergétique du bâtiment (voir IPMVP pour plus d'informations (Efficiency Valuation Organization, 2023));
 - Si la mesure de la performance du bâtiment avant son amélioration n'est pas possible, il est possible de remplacer cette mesure par une année complète de données de facturation des services publics avec la plus haute résolution disponible avant l'amélioration.
- Mesurer la consommation d'ECD du bâtiment à l'aide d'un débitmètre et de mesures de la température à l'entrée et à la sortie du réservoir;
- Un suivi d'au moins 12 mois après l'achèvement des travaux d'amélioration énergétique de grande envergure. Un plan de M&V continu est à envisager afin d'assurer la pérennité des avantages du programme d'amélioration énergétique de grande envergure en matière de performance.

Il est également important de classer le type de combustible afin de déterminer le carbone émis par le bâtiment dans le cadre de son fonctionnement. Le calcul des émissions opérationnelles se fait sans difficulté si la consommation est directement liée à la consommation de combustibles fossiles. Cependant, lorsque le bâtiment est connecté au réseau, le mélange entre les différentes catégories de production énergétique a un impact significatif sur les émissions de carbone attribuées à la consommation d'énergie.

Tableau 3 : Résumé du suivi de la consommation d'énergie

Mesure	Mesure ou information	Fréquence de mesure recommandée
Production sur site	Énergie électrique provenant de systèmes photovoltaïques installés sur les toits, de systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments ou d'autres systèmes de production d'énergie	Préférence pour analyse sous-horaire, minimum horaire
Consommation énergétique	Énergie électrique - bâtiment entier	Préférence pour analyse sous-horaire, minimum horaire
	Énergie électrique - au niveau du circuit par utilisation finale principale, (p. ex., chauffage, refroidissement, ECD, etc.)	Préférence pour analyse sous-horaire, minimum horaire
	Charges de base de l'énergie électrique l'éclairage, les prises de courant, les appareils électroménagers, etc.	Analyse horaire de préférence, minimum quotidien
	Consommation de carburants de remplacement (gaz naturel, propane, etc.) - bâtiment entier	Analyse horaire de préférence, minimum quotidien
Eau	Consommation d'eau chaude domestique	Analyse horaire de préférence, minimum quotidien

5.2 Confort thermique et qualité de l'air intérieur

Avec une étanchéité accrue des bâtiments, une ventilation mécanique pour fournir de l'air frais extérieur est nécessaire pour assurer le maintien de la qualité de l'air intérieur. La norme ASHRAE 62.2 (American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2022) définit les exigences relatives aux taux de ventilation et aux débits minimaux d'air frais dans les bâtiments résidentiels. Les polluants peuvent être localisés dans un bâtiment, de sorte que la concentration moyenne d'un polluant atmosphérique peut être trompeuse lorsqu'elle est interprétée comme le seul indicateur d'une bonne qualité de l'air intérieur et d'un bon confort thermique.

En résumé, les **objectifs** de la surveillance du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur sont les suivants :

- Mesurer l'impact de l'amélioration sur la qualité de l'air intérieur et le confort thermique;
- Garantir que le système CVC du bâtiment fournit une ventilation et une évacuation suffisantes pour assurer le confort et la sécurité des occupants;
- Fournir un ensemble de conditions intérieures qui pourraient servir à affiner ou à calibrer les modèles énergétiques et hygrothermiques.

Choisir des **lieux de surveillance** qui :

- assurent le confort et la salubrité de l'espace climatisé pour les occupants après les travaux d'amélioration.

Afin de créer un ensemble de données comparables et fiables sur la qualité de l'air intérieur, voici une liste de **lignes directrices pour la surveillance** :

- Mesurer la température, l'humidité relative et le CO₂ dans les zones occupées du bâtiment à une hauteur comprise entre 0,6 et 1,7 m.
 - Si la mesure ne peut porter que sur une seule zone, la surveillance d'un espace normalement occupé (par exemple, l'espace de vie principal ou les espaces communs, ou une surveillance au niveau du thermostat) peut s'avérer suffisante;
 - Éviter toute exposition directe à la lumière du soleil ou lieu à proximité de sources de chaleur et d'humidité (cuisine, chauffage d'appoint, télévision, etc.).
- Mesurer les principaux polluants atmosphériques (radon, particules <2,5µm, particules <10µm, CO₂) avant et après l'amélioration dans chaque zone.
 - Si la mesure ne peut porter que sur une seule zone, la surveillance d'une zone normalement occupée (par exemple, l'espace de vie principal ou les espaces communs, ou une surveillance au niveau du thermostat) sera suffisante;

Dans la mesure du possible, voici d'autres zones utiles au sein du bâtiment :

- Mesurer la température et les polluants de l'air dans les zones (par exemple, les chambres à coucher) propices à la surchauffe et à l'inconfort.

Tableau 4 : Résumé du suivi du confort thermique et de la qualité de l'air

Mesure	Mesure ou information	Commentaires
Confort de zone	Température et humidité relative	Minimum par heure
Polluants de la zone	CO ₂ , CO, particules (par exemple, <2,5µm, <10µm), radon	Minimum par heure
Extérieur	Température et humidité relative	Analyse horaire de préférence

5.3 Hygrothermique

Les flux de chaleur, d'air et d'humidité à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment sont susceptibles d'être modifiés après l'amélioration, suite à l'ajout de nouvelles couches de contrôle (par exemple, thermique, air et humidité, etc.). À ce titre, les performances de l'enveloppe du bâtiment doivent être surveillées afin de veiller à ce que les matériaux vulnérables à la dégradation ne soient pas exposés à des conditions qui compromettent leur durée de vie utile. Selon les conditions de conception, lorsque le transfert de chaleur, d'air et d'humidité à travers l'enveloppe serait radicalement modifié par rapport à son état d'origine et/ou qu'il existe un risque avéré dans l'assemblage (p. ex., utilisation de matériaux innovants, isolation intérieure, bâtiment ayant déjà des problèmes liés à l'humidité avant l'amélioration, etc.

En **résumé**, les objectifs de la surveillance hygrothermique sont les suivants :

- Évaluer si la teneur en humidité intrinsèque admissible du revêtement existant a été respectée;
- Comprendre les performances de l'enveloppe existante et de la nouvelle enveloppe après l'amélioration, et voir dans quelle mesure elles correspondent aux performances modélisées en matière de durabilité.

Au moment de **choisir les lieux de surveillance** sur les murs ou les toits au-dessus du niveau du sol, il convient de les sélectionner de manière à ce que (par ordre de priorité) :

- une comparaison avec la modélisation hygrothermique puisse être effectuée;
- les conditions qui risquent de causer des problèmes d'humidité à long terme et qui sont ignorées ou non représentées dans un modèle hygrothermique 1D;
- chacune des quatre orientations.

Afin de *comparer les résultats de la modélisation*, voici une liste de **lignes directrices pour le choix de l'emplacement des capteurs** :

- Les capteurs HR sont généralement installés dans des cavités (entourées d'air) en vue de mesurer les conditions ambiantes de l'air environnant, tandis que les capteurs de température sont normalement installés sur les surfaces de l'assemblage en vue de mesurer les températures de surface;
- Les capteurs HR/T doivent toujours mesurer les hauteurs les plus susceptibles d'être mouillées et/ou endommagées par l'humidité et doivent être surveillés, au minimum;
- Les capteurs d'humidité sont généralement placés dans des endroits où les matériaux hygroscopiques risquent d'être exposés à des conditions d'humidité prolongées. En ce qui concerne la surveillance de zones plus vastes, l'humidité est généralement surveillée en haut et en bas de la zone;

- ➔ Les deuxièmes étages (le cas échéant) doivent être surveillés étant donné que les conditions peuvent varier par rapport au premier étage en raison de fuites d'air sortantes/entrantes (résultant de l'effet de cheminée), de boucles rentrantes (l'air, dirigé par les effets de tirage thermique, qui fuit de l'espace climatisé, dans l'assemblage mural, puis revient dans l'espace climatisé de sorte que le chemin des fuites d'air peut ne pas être identifié par le test d'infiltromètre).
 - Ceci est également valable pour les greniers, qui doivent être surveillés lorsqu'une configuration unique est utilisée.

Dans la mesure du possible, d'autres lieux d'implantation de capteurs utiles pourraient être les suivants :

- ➔ Surveiller les endroits présentant des variations spatiales (2-D et 3-D) dans les flux de chaleur, d'air et d'humidité (par exemple, les points de pont thermique, les pénétrations, les joints et les voies de fuite, etc.);
- ➔ Surveiller les endroits susceptibles de présenter un risque accru de condensation en raison d'un pont thermique ou d'un point de rosée;
- ➔ Surveiller les endroits susceptibles d'être exposés à une humidification plus importante due à la pluie battante ou aux éclaboussures par rapport à la modélisation;
- ➔ Surveiller les endroits qui présentent un risque plus élevé d'augmentation des fuites d'air;
- ➔ Surveiller la teneur en humidité aux points de fixation structurels critiques où des fuites d'air risquent de se produire, tels que les solives de rive, les panneaux de rive et les joints de panneaux.

De plus, les conditions météorologiques doivent être surveillées. La température extérieure, les précipitations, la vitesse et la direction du vent, le rayonnement solaire et la pression barométrique sont des valeurs qui seront utilisées pour vérifier les performances de l'enveloppe du bâtiment. Il est préférable d'installer une station météorologique sur le site afin d'enregistrer les conditions. Il est également possible d'installer une station météorologique à proximité, dans un rayon de 20 km du site de construction, par exemple dans un aéroport.

Tableau 5 : Résumé de la surveillance hygrothermique et météorologique

Mesure	Mesure ou information	Commentaires
Surfaces à base de bois p. ex., revêtement existant, nouveau revêtement, ossature en bois	Température	Minimum par heure
	Taux d'humidité	Précision de $\pm 1,0$ °C
Cavités et espaces aériens	Température	Minimum par heure
	Humidité relative	Précision de $\pm 1,0$ °C Précision de $\pm 3,0\%$
Extérieur	Pluie, vitesse et direction du vent, rayonnement solaire, pression barométrique	Préférence pour des données horaires sur le site ou une station météorologique dans un rayon de 20 km avec des données horaires

6. Annexe B – Vérification et analyse

Cette section présente un aperçu de la vérification de la performance du bâtiment à l'aide de la surveillance du bâtiment décrite ci-dessus. Cette analyse ne conviendra peut-être pas à tous les types de bâtiments et se limite à un champ d'application de haut niveau. Vous trouverez un exemple d'utilisation des mesures et de la vérification des bâtiments après l'amélioration dans l'analyse de l'étude de cas LCO-REEEP d'un projet de démonstration réalisé à Ottawa, en Ontario, entre 2020 et 2022.

6.1 Consommation et production d'énergie

La consommation et la production énergétiques sont essentielles pour évaluer l'efficacité énergétique de la maison et l'efficacité des MCE dans le cadre de l'amélioration. Les indicateurs clés de performance doivent être analysés avant et après l'amélioration.

Les **indicateurs clés de performance** des bâtiments avant et après l'amélioration sont les suivants :

- Total de la consommation énergétique annuelle (mensuelle, hebdomadaire) et de la production, le cas échéant (kWh), et des économies d'énergie (kWh, %);
- Consommation énergétique annuelle par utilisation finale (mensuelle, hebdomadaire), et production, le cas échéant (kWh), et économies d'énergie par utilisation finale (kWh, %);
 - Chauffage de l'espace
 - Climatisation de l'espace
 - Eau chaude domestique
- Demande d'énergie de pointe par utilisation finale, et production, le cas échéant (kW).

D'autres indicateurs de performance s'il est possible de les évaluer :

- Consommation énergétique normalisée ou coûts énergétiques;
 - Consommation énergétique normalisée et/ou coût par surface habitable utile
 - Consommation énergétique normalisée et/ou coût par degré-jour de chauffage/climatisation
- Consommation énergétique primaire et/ou émissions de carbone équivalentes;
- Analyse du cycle de vie de l'énergie intrinsèque et/ou du carbone.

La consommation et la production énergétiques totales et normalisées du bâtiment seront utilisées pour vérifier l'efficacité des mesures de conservation de l'énergie et les économies réalisées après l'amélioration. La consommation et la production énergétiques annuelles totales permettront de déterminer l'efficacité énergétique et les économies réalisées dans le cadre du projet, ainsi que d'établir une comparaison avec d'autres projets ayant fait l'objet d'un investissement similaire. L'utilisation finale de l'énergie mesurée annuellement à l'aide de compteurs divisionnaires permettra de commander et d'évaluer l'impact de mesures spécifiques de conservation de l'énergie. La normalisation de la consommation énergétique en fonction de la superficie et/ou du coût de l'énergie permettrait la constitution d'un ensemble de données solide qui serait comparable à d'autres projets d'amélioration énergétique de grande envergure ayant fait l'objet d'un suivi.

Les émissions de carbone intrinsèques et opérationnelles peuvent être estimées en fonction des caractéristiques du bâtiment. L'outil Estimateur d'émissions de carbone des matériaux (E2CM) permet d'estimer les émissions requises pour la fabrication des matériaux de construction et d'estimer les émissions de carbone liées à l'exploitation du bâtiment à l'aide des résultats de la modélisation énergétique (Natural Resources Canada, 2023). Lorsque des données de mesure sont disponibles, calculer les émissions de fonctionnement en suivant la procédure de la norme internationale ISO 14064 sur les projets de gaz à effet de serre - Partie 2 pour la quantification au niveau d'un projet (International Organization for Standardization, 2019). Pour l'estimation du carbone, cela peut se faire au stade de la conception et de la vérification du projet.

6.2 Confort thermique et qualité de l'air intérieur

Le confort des occupants et la qualité de l'air intérieur sont régis par les critères de confort de la norme ASHRAE 55 (American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2020) et de la norme ASHRAE 62.2 (American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2022). Il est essentiel de veiller à ce que l'environnement intérieur soit confortable et sain pour les occupants après les travaux d'amélioration.

Les **indicateurs de performance clés** sont les suivants :

- Modèles de confort thermique ASHRAE 55;
- Concentration de CO₂.

Les deux modèles de confort thermique sont disponibles auprès de l'ASHRAE 55 : le modèle de confort thermique adaptatif et le Fanger Predicted Mean Vote (PMV). Les modèles servent à calculer la plage de confort thermique attendue pour un ensemble de conditions donné. Le modèle de confort thermique adaptatif fait appel à la température extérieure pour fixer les limites d'un point de consigne intérieur confortable. Le modèle adaptatif est limité aux bâtiments à ventilation naturelle, ce qui ne devrait pas être le cas après l'amélioration, et est limité à une plage de 5 à 35 °C. Le PMV de Fanger se base sur la température de la peau pour la sensation de confort thermique en estimant le bilan thermique à la surface de la peau. Le PMV est fonction de six variables : la température de l'air, la température radiante moyenne, la vitesse de l'air, l'humidité de l'air, les vêtements et le niveau d'activité. Pour les bâtiments résidentiels, le taux métabolique attendu et les types de vêtements peuvent être estimés, et la plage de confort attendue est précisée dans le tableau de confort de la norme ASHRAE 55.

Tableau 6 : Résumé de l'analyse du confort thermique et de la qualité de l'air

Méthode	Relation	Remarques et limitations
ASHRAE 55, 2020 Modèle de confort adaptatif (American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2020)	$T_{comfort} = 0.31 \cdot T_{aout} + 17.8$	Limité à 5-35 °C pour les bâtiments à ventilation naturelle.
ASHRAE 55, 2020 Modèle de confort analytique (American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2020)	Une méthode graphique fondée sur la température opérationnelle, l'humidité relative, le taux métabolique et les types de vêtements.	Pour les bâtiments chauffés et climatisés mécaniquement.

Concentration de CO₂
(American Society for Heating,
Refrigeration and Air-Conditioning
Engineers, 2022)

$$C_{CO_2} = \frac{PQC_{CO_2} + S}{Q}$$

6.3 Durabilité de l'enveloppe du bâtiment

La surveillance de l'enveloppe du bâtiment est indispensable pour s'assurer que l'enveloppe fonctionne comme prévu en fonction des différentes charges intérieures et des changements météorologiques à l'extérieur. La surveillance de la température, de l'humidité relative et de la teneur en humidité sera utilisée pour calculer les indicateurs clés de performance de la durabilité à long terme des enveloppes de bâtiments.

Les **indicateurs de performance clés** sont les suivants :

- Indice de moisissure maximal pendant la surveillance;
- Taux d'humidité maximal du bois;
- Heures au-dessus de l'humidité relative critique pour les matériaux vulnérables aux moisissures;
- Valeur R effective de la toiture, des murs au-dessus du niveau du sol et des assemblages au-dessous du niveau du sol.

Les mesures prises à l'intérieur de l'enveloppe peuvent servir à évaluer la durabilité de l'enveloppe à l'aide des procédures d'analyse de l'humidité décrites dans la norme ASHRAE 160. L'indice de moisissure est un modèle mathématique et empirique qui prédit la croissance des moisissures en fonction du substrat et des conditions de surface (température, humidité relative, rugosité). La norme ASHRAE 160 (American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2021) stipule qu'un assemblage est sûr et durable lorsque l'indice de moisissure sur les surfaces vulnérables à la formation de moisissures est inférieur à trois.

Tableau 7 : Valeurs d'indice et niveaux de croissance de la moisissure

Valeur d'indice de moisissure	Niveau potentiel de croissance des moisissures
0	Aucune croissance
1	Petites quantités de moisissures à la surface (microscopiques), premiers stades de la croissance locale
2	Plusieurs colonies locales de moisissures à la surface (microscopiques)
3	Présence visuelle de moisissures en surface, <10 % de couverture, ou <50 % de couverture de moisissures (microscopique)
4	Présence visuelle de moisissures en surface, 10-50 % de couverture, ou >50 % de couverture de moisissures (microscopique)
5	Une croissance abondante à la surface, avec une couverture de >50 % (visuelle)
6	Croissance forte et serrée, couverture d'environ 100 %.

L'indice de croissance des moisissures peut être calculé selon l'équation suivante :

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{7 \cdot \exp(-0.68 \ln T - 13.9 \ln RH + 0.14W - 0.33SQ + 66.02)} k_1 k_2$$

Où,

k_1 représente le coefficient d'intensité qui dépend du niveau de croissance de la moisissure;
 k_2 est la limite de l'intensité de la croissance lorsque le niveau de l'indice de moisissure approche de la valeur maximale;
 W (0=pin, 1=épinette), SQ (0 pour le bois scié, 1 pour le bois séché au four) sont des facteurs pour les matériaux en bois;
 T représente la température de la surface, en °C, RH représente l'humidité relative à la surface.

À partir de la température et de l'humidité relative mesurées, l'indice de moisissure peut être calculé sur la base des données horaires mesurées avant et après l'amélioration, à l'aide d'outils de calcul numérique (par exemple, MatLAB, Excel, etc.).

Pour les matériaux vulnérables, le nombre d'heures au-dessus de l'humidité relative de surface critique (HR_{crit}) peut servir d'indicateur de performance clé pour la résistance à l'humidité. L'humidité relative critique pour les matériaux vulnérables est décrite par la relation ci-dessous en fonction de la température de surface mesurée. Plus l'humidité relative mesurée est supérieure à l'humidité relative critique, plus les performances et le potentiel de séchage de l'enveloppe du bâtiment sont mauvais.

Tableau 8 : Classes de sensibilité des matériaux au développement des moisissures

Classe de vulnérabilité	Matériaux
Très vulnérable	Aubier de pin
Vulnérable	Planches en bois collées, polyuréthane (surface en papier PUR, épinette)
Résistance moyenne	Béton, béton cellulaire et aéré, laine de verre, laine de polyester
Résistant	Surface polie PUR

$$RH_{crit} = \begin{cases} -0.00267T^3 + 0.16T^2 - 3.13T + 100, & \text{when } T < 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ 80\%, & \text{when } T \geq 20 \text{ }^\circ\text{C} \end{cases}$$

À partir des données recueillies, il est possible de déterminer si la performance hygrothermique de l'enveloppe du bâtiment est SÉCURITAIRE ou NON SÉCURITAIRE en fonction de l'indice de moisissure maximal pour la période contrôlée et de comparer différentes conceptions après l'amélioration avec le nombre d'heures au-dessus de l'humidité relative critique.

Personne-ressource :

D^r Brock Conley

Ingénieur de recherche

Ressources naturelles Canada, CanmetÉNERGIE

Groupe bâtiments et renouvelables

Brock.Conley@nrcan-rncan.gc.ca

À propos de CanmetÉNERGIE

CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada est le chef de file canadien en matière de recherche et de développement technologique dans le domaine de l'énergie propre. Nos experts sont actifs dans les domaines de l'approvisionnement en énergie propre à partir de combustibles fossiles et de sources renouvelables, des systèmes de gestion et de distribution de l'énergie, et des technologies et processus avancés d'utilisation finale. Nous veillons à ce que le Canada soit à la pointe des technologies énergétiques propres et nous améliorons la qualité de vie des Canadiens en créant un avantage durable en matière de ressources.

Siège social
580 Booth Street
Ottawa, ON
Canada
K1A 0E4

Devon, Alberta
1 Oil Patch Drive
Devon, AB
Canada
T9G 1A8

Ottawa (Ontario)
1 Haanel Drive
Ottawa (Ontario)
Canada
K1A 1M1

Varenes (Québec)
1615, boulevard Lionel-Boulet
Varenes (Québec)
Canada
J3X 1S6



canmetenergie.nrcan.gc.ca

Canada