

Chauffer mieux

Outil grand public

Note méthodologique

Préparé pour :



Partenariat
Climat MTL

Avril 2025



Rédigé pour:



Partenariat Climat Montréal

Rédigé par:



Dunsky Énergie + Climat

50 rue Sainte-Catherine Ouest, bur. 420
Montréal, QC, H2X 3V4

www.dunsky.com | info@dunsky.com
514 504 9030

Avec le soutien de:

Vivre en Ville

Université Concordia

École de technologie supérieure

À propos de Dunsky



Dunsky est fière de soutenir les principaux acteurs – gouvernements, entreprises d'énergie, grandes corporations et autres – dans leurs démarches pour **accélérer la transition énergétique** de façon efficace et responsable.

Forte d'une équipe de 60 experts, Dunsky œuvre dans les domaines des Bâtiments, de la Mobilité, de l'Industrie et de l'Énergie. Basés au Québec, nous appuyons nos clients de deux façons : par l'**Analyse** rigoureuse des opportunités (technique, économique, marchés), et par la conception ou l'évaluation de **Stratégies** (plans, programmes, politiques) pour en assurer le déploiement.

The top section of the graphic features the Dunsky logo on the left, which includes the text "dunsky" and "Énergie + Climat" above the tagline "ACCÉLÉRER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE". To the right of the logo are four circular icons representing different sectors: a building for "BÂTIMENTS", a car and bicycle for "MOBILITÉ", a factory for "INDUSTRIE", and a solar panel for "ÉNERGIE". Above these icons is a central icon representing "ANALYSE + STRATÉGIE" with a bar chart and a circular flow diagram.

The middle section is a map of North America, including parts of Canada and the United States, populated with numerous logos of client organizations. These logos represent a wide range of sectors and government levels, from local utilities to national governments.

At the bottom of the graphic, three categories are listed: "GOUVERNEMENTS", "ENTREPRISES D'ÉNERGIE", and "CORPORATIF + OBNL".

Visitez www.dunsky.com pour de plus amples renseignements.

Table des matières

Table des matières	1
1. Contexte	2
2. Méthodologie	3
2.1 Approche économique	3
2.2 Archétypes de bâtiments	3
2.3 Pistes pour Chauffer Mieux	4
2.4 Le modèle HEAT^{mc} de Dunsky	4
2.4.1 Performance énergétique simulée.....	4
3. Intrants	6
3.1 Archétypes de bâtiments	6
3.1.1 Segments.....	6
3.1.2 Périodes de construction	6
3.1.3 Construction existante.....	6
3.1.4 Amélioration de l'efficacité de l'enveloppe	7
3.1.5 Charges de chauffage résultantes	7
3.2 Équipements et configurations.....	8
3.2.1 Équipements de référence	8
3.2.2 Pistes de décarbonation des systèmes de chauffage	9
3.2.3 Dimensionnement et contrôles	10
3.2.4 Performance énergétique des équipements	12
3.2.5 Systèmes de gestion dynamique de la pointe	14
3.3 Intrants économiques	14
3.3.1 Coût d'installation des équipements	14
3.3.2 Mise à niveau du panneau électrique.....	16
3.3.3 Aides financières disponibles.....	16
3.3.4 Projections des prix de l'énergie.....	18
3.3.5 Projections des émissions de GES	20
3.4 Données climatiques	21
Annexe A.....	22

1. Contexte

Cette initiative a pour objet de développer un **outil d'aide à la décision simple et accessible**, permettant aux utilisateurs d'identifier rapidement les meilleures pistes pour mieux chauffer leur logement ou local commercial. L'outil **Chauffermieux.com** intègre la substitution énergétique, l'électrification partielle et complète ainsi que le recours aux énergies renouvelables telles que la géothermie, l'aérothermie et le gaz naturel renouvelable, lorsqu'approprié, de même que l'efficacité énergétique axée sur l'enveloppe thermique.

L'initiative s'inscrit comme un levier opérationnel dans la mise en œuvre de la [Politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques - Plan pour une économie verte 2030](#) (novembre 2020). Dans une optique d'électrification intelligente des bâtiments, l'outil vise à orienter les consommateurs vers les solutions les plus appropriées en fonction de la capacité du réseau électrique, en particulier de la gestion de pointe, tout en limitant les besoins énergétiques. Elle s'impose d'autant plus dans le contexte montréalais où les cibles climatiques pour les bâtiments ont été récemment rehaussées et devancées de 10 ans, comme indiqué dans la feuille de route de la Ville [Vers des bâtiments montréalais zéro émission dès 2040](#). L'outil s'inscrit également dans le [Plan climat 2020-2030 de la Ville de Montréal](#) (actions 24, 25 et 27).

Le présent rapport détaille la méthodologie utilisée pour calculer la rentabilité des différents systèmes de chauffage pour les ménages et propriétaires de la Ville de Montréal. **Ce rapport vise un lecteur relativement expert qui voudrait mieux comprendre la méthodologie et les hypothèses menant aux solutions mises de l'avant.**

L'outil analyse plusieurs centaines de combinaisons d'archétypes de bâtiments, de périodes de construction et de systèmes de chauffage et de climatisation de référence, et évalue la rentabilité et les impacts des pistes de décarbonation, d'efficacité et de substitution énergétiques.

L'outil *Chauffermieux.com* a été développé grâce à l'apport de l'université Concordia et le soutien de l'École de Technologie Supérieure (ÉTS).

Le comité directeur mené par Vivre en Ville est composé de représentants de la Ville de Montréal, d'Hydro-Québec et d'Énergir, en plus de Dunsky, Concordia et l'ÉTS.

2. Méthodologie

2.1 Approche économique

L'outil présente les coûts sous forme de **moyenne annuelle des coûts totaux**, soit le coût total de l'équipement de chauffage principal sur sa durée de vie ramené sur une base annuelle moyenne.

Le calcul inclut les coûts d'achat et d'installation des équipements (chauffage et climatisation¹), la mise à niveau électrique le cas échéant, les aides financières disponibles, les coûts d'entretien, ainsi que les factures des sources d'énergie utilisées (mazout, gaz naturel, gaz naturel renouvelable [GNR], électricité).

Les flux monétaires sont présentés sous forme de valeur actuelle nette, avec un taux d'actualisation de 6,86 % (en termes réels), qui représente le coût d'opportunité de cet investissement. Les flux sont ensuite annualisés pour faciliter la comparaison.

Des flux monétaires représentant les remplacements futurs requis pour certains équipements sont calculés (par exemple pour un climatiseur de fenêtre, dont la durée de vie utile est moins longue que celle des équipements de chauffage). À la fin de la durée de vie utile de l'équipement de chauffage principal, une valeur résiduelle des autres équipements est ainsi considérée (les durées de vies des équipements sont présentées à la section 3.3.1).

Des projections tarifaires sont appliquées à la consommation d'énergie annuelle de chaque configuration, et sont détaillées à la section 3.3.4.

2.2 Archétypes de bâtiments

L'outil présente plusieurs archétypes prédéfinis, visant à couvrir le plus grand nombre de cas réels. L'idée n'est pas d'offrir à l'utilisateur un calcul précis pour sa situation, mais plutôt d'orienter le choix vers un ordonnancement des pistes les plus porteuses en étant éclairé par un cas analogue au sien.

Le croisement de sources de données publiques a permis de détailler les éléments principaux de chaque bâtiment sur l'île de Montréal. Après avoir sélectionné les sept usages de bâtiments les plus porteurs grâce à une analyse statistique (voir section 3.1.1), l'équipe de Concordia a procédé à une analyse de type « clustering » afin d'identifier le bâtiment précis qui représente le mieux la moyenne des bâtiments de chaque sous-groupe. Le rapport méthodologique présentant cette analyse statistique est présenté en Annexe.

Ainsi, chaque archétype représente un bâtiment théorique moyen, développé à partir d'un bâtiment réel représentant le mieux possible cet archétype.

L'équipe de Concordia a modélisé chacun des 25 bâtiments réels dans le logiciel de simulation *EnergyPlus* afin d'obtenir les consommations horaires pour le chauffage et la climatisation. Ces charges sont ensuite intégrées dans le modèle de décarbonation du chauffage HEAT^{mc} de Dunsy, présenté à la section 2.4, afin d'analyser la rentabilité des diverses solutions.

¹ La climatisation est incluse par défaut. Puisque les thermopompes permettent de chauffer et de climatiser, un climatiseur est donc pris en compte pour comparer les différentes options sur la même base.

2.3 Pistes pour Chauffer Mieux

L'outil présente globalement cinq grands axes pour chauffer mieux:

Efficacité énergétique

- Un seul ensemble de mesures par archétype
- Remplacement des fenêtres, isolation des combles, étanchéisation

Équipements de chauffage

- Thermopompes (murales, centrales, hydroniques, géothermiques)
- Équipements à résistance électrique
- Équipements au gaz (avec GNR et/ou en biénergie)

Configurations énergétiques

- Électricité: déjà ~100% renouvelable
- 100% GNR volontaire (le réseau est converti d'ici 2040)
- Biénergie (avec gaz naturel fossile ou GNR)

Approvisionnement en énergies renouvelables

- Électricité: déjà ~100% renouvelable
- Achat volontaire de GNR (100% seulement)

Gestion de la pointe

- Aucun cas d'électrification sans gestion de pointe
- 3 options: biénergie, gestion dynamique, stockage thermique

2.4 Le modèle HEAT^{mc} de Dunsky

Le modèle de décarbonation du chauffage exclusif à Dunsky (**HEAT^{mc}**) a été développé pour refléter les caractéristiques uniques des régions à climat froid comme le Québec. HEAT^{mc} intègre des milliers de mesures de thermopompes, y compris toutes les technologies (murales, centrales ou hydroniques; qu'elles soient aérothermiques ou géothermiques), et modélise leur performance dans n'importe quelle configuration (hybride, biénergie ou tout-électrique avec gestion de la pointe). Le modèle offre une approche sophistiquée pour évaluer le fonctionnement actuel et futur des technologies de thermopompes et fournir des calculs économiques spécifiques au contexte.

Jumelé aux connaissances de Dunsky sur les pistes de décarbonation du chauffage, incluant leurs coûts et leur faisabilité, de même que nos perspectives stratégiques, HEAT^{mc} permet de prendre et de défendre des décisions éclairées sur les stratégies de décarbonation du chauffage. Il a été utilisé à travers le Canada et les États-Unis pour prévoir l'adoption de thermopompes sur la base de multiples scénarios, évaluer le potentiel d'électrification dans le cadre d'études de potentiel technico-économiques, obtenir des prévisions en ce qui concerne l'impact sur le profil de charge de réseaux électriques et évaluer le niveau d'intervention requis dans le marché pour atteindre des objectifs d'efficacité, de gestion de la demande et/ou de décarbonation.

2.4.1 Performance énergétique simulée

HEAT^{mc} considère la performance des thermopompes de manière horaire, en tenant compte de leur capacité de chauffage et leur efficacité en fonction de la température extérieure. En utilisant 8 760 données climatiques horaires spécifiques à la région de Montréal et des courbes de performance

énergétique, HEAT^{mc} fournit la performance saisonnière des systèmes en fonction des archétypes et des paramètres de l'outil (voir les résultats à la section 3.2.4).

Dimensionnement et calcul des coûts automatisés dans HEAT^{mc}

Étant donné que les thermopompes perdent une partie de leur capacité lorsque les températures extérieures baissent, les stratégies de dimensionnement visent à déterminer le bon équilibre pour tirer parti de l'efficacité des thermopompes, tout en limitant un surdimensionnement coûteux. Les stratégies optimales peuvent différer selon la configuration énergétique, puisque l'équipement de chauffage d'appoint peut avoir diverses considérations en matière d'installation et de coût de l'énergie. HEAT^{mc} dimensionne automatiquement tous les équipements de chauffage en fonction de la charge de chauffage de chaque bâtiment, des données climatiques locales et de la stratégie de dimensionnement spécifique (voir section 3.2.3).

HEAT^{mc} calcule ensuite les coûts en fonction du dimensionnement requis.

3. Intrants

3.1 Archétypes de bâtiments

3.1.1 Segments

L'outil analyse quatre archétypes de bâtiments résidentiels et trois de petits bâtiments commerciaux :

Résidentiel	Commercial
<ul style="list-style-type: none">1. Maison unifamiliale2. Maison en rangée3. Appartement (chauffage de l'unité)4. Immeuble multilogement (chauffage de l'immeuble entier)	<ul style="list-style-type: none">5. Petit bureau6. Petit commerce détaché7. Local commercial attaché

3.1.2 Périodes de construction

Chaque segment est caractérisé selon les périodes de construction suivantes, qui sont basées sur une combinaison de données de marché et de mises à jour des codes/pratiques de construction :

Résidentiel	Commercial
1946 et avant	1946 et avant
1947-1983	1947-1983
1984-2011	Après 1983
Après 2011	

Il en résulte un **total de 25 archétypes** (16 résidentiels et 9 commerciaux) résumés à la section 3.1.5. Des photos des archétypes précis sont fournies au rapport de Concordia, en Annexe.

3.1.3 Construction existante

L'équipe de Concordia a modélisé la géométrie des 25 archétypes, puis y a intégré les constructions de murs, de toit, de fondation et de fenêtres, les charges horaires des usages et l'occupation prévue, ainsi que l'opération de la ventilation selon des horaires typiques. Le tout est détaillé en Annexe.

La résultante est un profil horaire de chauffage et de climatisation, de même que d'éclairage, de chauffage de l'eau, des charges aux prises et des charges motrices. Ces charges sont intégrées dans le modèle HEAT^{mc} de Dunsky, afin d'analyser la rentabilité des pistes de décarbonation. Ces charges

horaires permettent d'évaluer adéquatement les factures mensuelles, incluant la pointe électrique, ainsi que l'impact réseau des pistes d'électrification.

3.1.4 Amélioration de l'efficacité de l'enveloppe

Les 25 archétypes ont été modélisés sous deux variantes : l'une représentant la situation actuelle, et l'autre après un ensemble de rénovations énergétiques axées sur l'enveloppe.

Un seul ensemble de mesures a été modélisé par archétype, tel que défini au tableau suivant :

Archétypes	Période	Étanchéisation	Remplacement des fenêtres	Isolation des combles
Maison unifamiliale	1946 et avant	oui	oui	oui
	1947-1983	oui	oui	oui
	1984-2011	oui	oui	oui
	Après 2011	oui	non	non
Maison en rangée Appartement (chauffage de l'unité) Immeuble multilogement (chauffage de l'immeuble entier)	1946 et avant	oui	oui	non
	1947-1983	oui	oui	non
	1984-2011	oui	oui	non
	Après 2011	oui	non	non
Petit commerce détaché Local commercial attaché Petit bureau	1946 et avant	oui	oui	non
	1947-1983	oui	oui	non
	Après 1983	oui	non	non

3.1.5 Charges de chauffage résultantes

Les superficies moyennes de plancher par segment et les charges de chauffage brutes avant et après travaux de rénovation d'enveloppe thermique pour les 25 archétypes sont présentées ci-bas.

Les charges horaires par usages (p. ex., chauffage) de Concordia ont été intégrées au modèle HEAT^{mc} de Dunsky. L'Annexe détaille chaque bâtiment réel utilisé comme base pour la modélisation.

Dans certains cas, Dunsky a appliqué des facteurs d'ajustement aux charges de chauffage, basé sur son jugement professionnel, afin d'être plus représentatif d'un bâtiment moyen et des besoins thermiques typiques par période de construction.

Segment	Période de construction	Superficie moyenne de plancher (m ²)	Charge de chauffage brute avant rénovations (GJ/m ²)	Charge de chauffage brute après rénovations (GJ/m ²)
Maison individuelle	1946 et avant	232	0,64	0,46
	1947-1983		0,54	0,37
	1984-2011		0,34	0,27
	Après 2011		0,32	0,29

Segment	Période de construction	Superficie moyenne de plancher (m ²)	Charge de chauffage brute avant rénovations (GJ/m ²)	Charge de chauffage brute après rénovations (GJ/m ²)
Maison en rangée	1946 et avant	177	0,48	0,36
	1947-1983		0,47	0,36
	1984-2011		0,27	0,22
	Après 2011		0,21	0,19
Appartement (chauffage de l'unité)	1946 et avant	97	0,52	0,39
	1947-1983		0,46	0,37
	1984-2011		0,26	0,24
	Après 2011		0,23	0,22
Immeuble multilogement (chauffage de l'immeuble entier)	1946 et avant	1295	0,66	0,51
	1947-1983		0,46	0,35
	1984-2011		0,37	0,23
	Après 2011		0,21	0,20
Petit commerce détaché	1946 et avant	784	0,75	0,63
	1947-1983		0,48	0,43
	Après 1983		0,36	0,34
Local commercial attaché	1946 et avant	936	0,73	0,64
	1947-1983		0,58	0,53
	Après 1983		0,49	0,48
Petit bureau	1946 et avant	850	0,79	0,59
	1947-1983		0,59	0,44
	Après 1983		0,56	0,50

3.2 Équipements et configurations

3.2.1 Équipements de référence

La modélisation se concentre sur le chauffage et la climatisation des espaces, et exclut les autres usages énergétiques tels l'eau chaude domestique, la cuisson et le chauffage d'appoint (p. ex. les foyers). Les coûts d'utilisation (facture d'énergie et entretien) se limitent ainsi au chauffage et à la climatisation.

Les équipements modélisés dans les cas de référence sont présentés au tableau ci-dessous :

Source d'énergie	Équipement de chauffage	Équipement de climatisation
Mazout	Fournaise Chaudière	Climatiseur de fenêtre Climatiseur mural Climatiseur central Unité de toit (commercial)
Gaz naturel	Fournaise Chaudière Unité de toit (commercial)	
Électrique	Plinthes électriques Fournaise Chaudière Unité de toit (commercial)	

3.2.2 Pistes de décarbonation des systèmes de chauffage

Équipements de chauffage et climatisation

Le tableau suivant présente les équipements applicables selon le cas de référence, déterminés d'après le système de distribution existant (conduits de ventilation, tuyauterie d'eau chaude ou plinthes électriques) et les considérations réglementaires (les bâtiments au mazout résidentiels devant obligatoirement s'électrifier).

Équipements applicables	Cas de référence								
	Fournaise			Unité de toit (commerciale)		Chaudière			Plinthe
	Gaz	Mazout	Élec.	Gaz	Élec.	Gaz	Mazout	Élec.	Élec.
Approvisionnement au GNR	■	□ ²		■		■	□ ³		
Résistance électrique	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Thermopompe murale						■	■	■	■
Thermopompe centrale (air pulsé)	■	■	■						
Unité de toit thermopompe				■	■				
Thermopompe hydronique (air-eau)						■	■	■	
Thermopompe géothermique	■	■	■	■	■	■	■	■	
Stockage thermique	■	■	■			■	■	■	

² Option applicable seulement pour les segments commerciaux avec un accès au réseau gazier.

³ Option applicable seulement pour les immeubles multilogements avec un accès au réseau gazier.

Configurations énergétiques

Certaines configurations énergétiques constituent des pistes de décarbonation. Ainsi, la biénergie est une piste pour la clientèle chauffée au gaz naturel, alors qu'elle n'est pas disponible aux consommateurs résidentiels chauffés au mazout ou à l'électricité.

Bien que les autres usages (eau chaude domestique, cuisson, appoint) soient exclus de la modélisation, l'hypothèse retenue pour les pistes d'électrification complète est que ces autres usages seraient aussi électrifiés et que le bâtiment serait déconnecté du réseau gazier.

3.2.3 Dimensionnement et contrôles

L'analyse de toutes les configurations de thermopompes standard et à climat froid tient compte des stratégies de dimensionnement et de contrôle des systèmes selon les normes de l'industrie.

Dans tous les cas, **comme les thermopompes fournissent à la fois des services de chauffage et de climatisation, leur dimensionnement doit tenir compte des deux besoins.** HEAT^{mc} calcule donc les besoins en chauffage et en climatisation, et calcule la capacité de l'équipement en fonction de la valeur la plus élevée des deux. Dans l'ensemble, les archétypes plus vieux sont habituellement dimensionnés pour le chauffage, alors que les archétypes plus récents sont dimensionnés en climatisation, surtout si ce sont des équipements qui ne sont pas à climat froid et qui opèrent moins à basse température.

Les thermopompes sont dimensionnées pour couvrir la charge de chauffage du bâtiment à une température d'air extérieur donnée et peuvent être contrôlées par une température de permutation (en biénergie) ou fonctionner en parallèle avec le système d'appoint (ce dernier ne fournissant que ce que la thermopompe n'est pas en mesure de fournir).

Dans le cas des **systèmes de thermopompes entièrement électriques**, la température de dimensionnement a été fixée à -8,3 °C, conformément aux lignes directrices de Ressources naturelles Canada (option 4C pour le dimensionnement des thermopompes, qui couvre la majeure partie du chauffage dans la plupart des régions).⁴ Pour ces systèmes, lorsque la charge de chauffage du bâtiment dépasse la capacité de la thermopompe, la thermopompe et la résistance électrique d'appoint fonctionnent en parallèle pour répondre au besoin en chauffage.

Pour les **systèmes en configuration biénergie**, la température de permutation est de -12 °C, comme établi par l'offre biénergie d'Hydro-Québec et d'Énergir pour la zone climatique couvrant le Grand Montréal, assumant que le système est muni d'un dispositif de permutation automatique.

Tableau 1 . Dimensionnement des thermopompes et stratégies de contrôle.

Type d'équipement	Configuration	Taille	Contrôle
Thermopompe centrale standard	Biénergie	Dimensionnée en climatisation	Permutation à -12 °C
	Tout électrique	Dimensionnée en climatisation	Opération parallèle
Thermopompe centrale à climat froid	Biénergie	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Permutation à -12 °C

⁴ RNCAN - Ressources naturelles Canada. (2020). [Guide de dimensionnement et de sélection des thermopompes à air.](#)

Type d'équipement	Configuration	Taille	Contrôle
	Tout électrique	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Opération parallèle
Thermopompe murale standard	Hybride (multisource)	Dimensionnée en climatisation	Opération parallèle
	Tout électrique	Dimensionnée en climatisation	Opération parallèle
Thermopompe murale à climat froid	Hybride (multisource)	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Opération parallèle
	Tout électrique	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Opération parallèle
Thermopompe géothermique	Biénergie	Répondre à la charge de chauffage à -12 °C	Permutation à -12 °C
	Tout électrique	Répondre à la charge de chauffage à -12 °C	Opération parallèle
Unité de toit électrique	Biénergie	1,25 fois la demande de chauffage à -12 °C	Permutation à -12 °C
	Tout électrique	1,25 fois la demande de chauffage de pointe	Couvrir la totalité de la charge
Unité de toit thermopompe standard	Biénergie	Dimensionnée en climatisation	Permutation à -12 °C
Unité de toit thermopompe à climat froid	Tout électrique	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Opération parallèle
Unité de toit géothermique	Biénergie	Répondre à la charge de chauffage à -12 °C	Permutation à -12 °C
	Tout électrique	Répondre à la charge de chauffage à -12 °C	Opération parallèle
Thermopompe hydronique - (air-eau) à climat froid	Biénergie	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Permutation à -12 °C
	Tout électrique	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Opération parallèle
Thermopompe multizone de type VRF⁵ - standard	Biénergie	Dimensionnée en climatisation	Permutation à -12 °C
	Tout électrique	Dimensionnée en climatisation	Opération parallèle
Thermopompe multizone de type VRF - à climat froid	Biénergie	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Permutation à -12 °C
	Tout électrique	Répondre à la charge de chauffage à -8,3 °C	Opération parallèle
	Biénergie	1,25 fois la demande de chauffage à -12 °C	Permutation à -12 °C

⁵ Système à débit de réfrigérant variable (*variable refrigerant flow* ou VRF).

Type d'équipement	Configuration	Taille	Contrôle
Système à résistance électrique Fournaise, chaudière, plinthes, accumulateurs thermiques	Tout électrique	1,25 fois la demande de chauffage de pointe	Couvrir la totalité de la charge
Système à combustion Fournaise, chaudière, unité de toit	Tous les fossiles	2 fois la demande de chauffage de pointe	Couvrir la totalité de la charge

3.2.4 Performance énergétique des équipements

Le modèle HEAT™ comprend la base de données de courbes de performance des thermopompes de Dunsy. Bien que ces données soient exclusives, elles ont été élaborées à partir de diverses sources énumérées ci-dessous, complétées par le jugement professionnel de Dunsy pour s'assurer que les différentes courbes de performance des équipements sont comparables et s'alignent sur les coûts des équipements.

Les principales références pour les courbes de performance des thermopompes sont les suivantes :

- Répertoire de performance des produits certifiés du AHRI⁶ (valeurs médianes de centaines de produits)
- Liste de produits ASHP pour climat froid du NEEP⁷ (valeurs médianes de centaines de produits)
- Centre de l'énergie et de l'environnement du Minnesota : essais sur le terrain de thermopompes à climat froid⁸
- Tableaux de données de performance de fabricants pour des produits spécifiques

Des facteurs d'ajustement sont inclus pour tenir compte des cycles de dégivrage de l'unité extérieure, et bien que nous ayons ajouté des facteurs pour tenir compte des performances réelles, nous supposons des installations de qualité effectuées par des entrepreneurs qualifiés.

Ces courbes sont utilisées pour déterminer le dimensionnement des équipements, pour estimer leur capacité et leur efficacité chaque heure de l'année en fonction de la température extérieure, et la manière dont les équipements de chauffage d'appoint doivent être utilisés.

En exemple, le tableau suivant indique pour deux des 25 archétypes modélisés, la part du chauffage couverte par la thermopompe et le COP moyen du système complet pendant la saison de chauffage (qui tient compte de la contribution du système d'appoint).

Type d'équipement	Configuration	Charge annuelle couverte par TP	Rendement saisonnier total du système (COP)
Maison individuelle, 1946-1983, sans rénovations d'enveloppe, scénario d'efficacité moyen)			
Fournaise au mazout	Tous les fossiles	-	0,83
Fournaise au gaz ou au GNR	Tous les fossiles	-	0,92
Chaudière au gaz ou au GNR	Tous les fossiles	-	0,90

⁶ [AHRI's Directory of Certified Product Performance \(ahridirectory.org\)](http://ahridirectory.org)

⁷ [NEEP's Cold Climate Air Source Heat Pump \(ccASHP\) Product List \(neep.org\)](http://neep.org)

⁸ [Center for Energy and Environment's Air Source Heat Pumps \(mncee.org\)](http://mncee.org)

Fournaise électrique	Tout électrique	-	0,98
Chaudière électrique	Tout électrique	-	0,97
	Biénergie	-	0,97
Plinthes électriques	Tout électrique	-	1,0
Appoint à résistance électrique	Biénergie	-	0,98
Thermopompe centrale standard	Tout électrique	75%	1,9
	Biénergie	49%	1,4
Thermopompe centrale à climat froid	Tout électrique	93%	2,5
	Biénergie	70%	1,8
Accumulateur thermique	Tout électrique	-	1,0
Thermopompe hydronique (air-eau) à climat froid	Tout électrique	93%	2,2
	Biénergie	70%	1,7
Thermopompe murale standard	Tout électrique	70%	1,8
	Hybride (multisource)	70%	1,7
Thermopompe murale à climat froid	Tout électrique	94%	2,6
	Hybride (multisource)	94%	2,6
Thermopompe géothermique centrale (eau-air)	Tout électrique	98%	3,5
	Biénergie	80%	2,3
Thermopompe géothermique hydronique (eau-eau)	Tout électrique	98%	2,9
	Biénergie	80%	2,1
Secteur commercial (petits bureaux, après 1983, sans efficacité énergétique, scénario moyen)			
Plinthes électriques	Tout électrique	-	1,0
Unité de toit au gaz	Tous les fossiles	-	0,8
Unité de toit électrique	Tout électrique	-	0,98
	Biénergie	-	0,95
Unité de toit thermopompe standard	Biénergie	27%	1,0
Unité de toit thermopompe à climat froid	Tout électrique	89%	2,2
Unité de toit géothermique	Tout électrique	96%	3,4
	Biénergie	70%	1,8
Thermopompe multizone de type VRF - standard	Tout électrique	85%	2,0
	Biénergie	50%	1,3
Thermopompe multizone de type VRF - à climat froid	Tout électrique	92%	2,6
	Biénergie	59%	1,5

3.2.5 Systèmes de gestion dynamique de la pointe

Toutes les solutions d'électrification complète proposées (c.-à-d. en configuration tout électrique) incluent de la gestion de pointe. Ces stratégies de gestion de pointe réduisent la demande de puissance électrique du bâtiment lors des événements de pointe hivernale du réseau électrique. La modélisation présume que tous les bâtiments qui optent pour la gestion de pointe adoptent aussi des tarifs préférentiels. Dans le cas des bâtiments qui payent pour leur appel de puissance (p. ex. : bâtiment commercial sur le Tarif G), la gestion de pointe engendre aussi des économies sur les factures énergétiques bimensuelles (réduction de la puissance facturée).

La réduction de la demande de pointe du bâtiment dépend des stratégies utilisées (gestion dynamique ou stockage thermique). Le tableau suivant présente les hypothèses retenues :

Stratégie de gestion	Équipements de gestion	Réduction de la pointe réseau (% de la puissance de chauffage)	Réduction de la pointe bâtiment (% de la puissance de chauffage)
Stockage thermique	Accumulateur thermique central (ATC)	100%	30%
Gestion dynamique	Thermostat intelligent central Thermostats intelligents distribués	20%	5%

3.3 Intrants économiques

3.3.1 Coût d'installation des équipements

Dunsky a exploité les données sur les coûts des thermopompes recueillies dans le cadre d'études antérieures et a effectué des recherches supplémentaires pour vérifier et mettre à jour les coûts afin d'élaborer une analyse de régression du coût en fonction de la capacité des équipements. La régression permet d'ajuster les coûts d'installation en fonction du dimensionnement requis et du climat local. Ces coûts installés incluent l'achat ainsi que l'installation (la main-d'œuvre).

Les sources de données utilisées comprennent RSMMeans, les manuels de référence techniques des programmes d'aides financières en Amérique du Nord, les coûts des détaillants accessibles au public et des soumissions réelles reçues dans le cadre de projets. Le tableau ci-dessous présente en exemple les coûts installés moyens des équipements pour deux exemples d'archétypes.

Type d'équipement	Coût installé (sans subvention)	Durée de vie utile (DVU)
Secteur résidentiel (maison individuelle, 1946-1983, sans efficacité énergétique, scénario moyen)		
Accumulateur thermique	17 000 \$	15 ans
Chaudière électrique	3 800 \$	25 ans
Chaudière au gaz	8 900 \$	25 ans
Fournaise électrique	4 700 \$	20 ans
Fournaise au mazout	6 000 \$	22 ans
Fournaise au gaz	5 700 \$	22 ans
Plinthes électriques	5 200 \$	25 ans

Type d'équipement	Coût installé (sans subvention)	Durée de vie utile (DVU)
Résistance électrique d'appoint (biénergie)	1 100 \$	17 ans
Thermostat intelligent central	250 \$	15 ans
Thermostats intelligents distribués	500 \$	15 ans
Thermopompe centrale standard	7 700 \$	18 ans
Thermopompe centrale à climat froid	17 400 \$	18 ans
Thermopompe hydronique à climat froid	17 800 \$	18 ans
Thermopompe murale standard	8 600 \$	18 ans
Thermopompe murale à climat froid	17 200 \$	18 ans
Thermopompe centrale géothermique	40 100 \$	30 ans
Thermopompe hydronique géothermique	40 200 \$	30 ans
Mise à niveau du panneau électrique	3 400 \$	- ⁹
Secteur commercial (petits bureaux, après 1983, sans efficacité énergétique, scénario moyen)		
Plinthes électriques	19 800 \$	25 ans
Unité de toit au gaz	29 800 \$	17 ans
Unité de toit électrique	29 800 \$	17 ans
Unité de toit thermopompe standard	57 200 \$	21 ans
Unité de toit thermopompe à climat froid	138 000 \$	21 ans
Unité de toit géothermique	219 800 \$	25 ans
Thermopompe VRF standard	63 900 \$	18 ans
Thermopompe VRF climat froid	91 800 \$	18 ans
Thermostats intelligents	500 \$	15 ans
Mise à niveau du panneau électrique	7 300 \$	- ⁹
Compteur électrique dédié (biénergie)	12 200 \$	- ⁹

Systèmes de gestion dynamique de la pointe

Les coûts de systèmes de gestion dynamique de la pointe varient selon les technologies utilisées ainsi que le nombre d'appareils installés. Pour le secteur résidentiel, le coût des thermostats intelligents pour plinthes électriques correspond à l'offre d'Hilo (en date d'avril 2025), soit 50 \$ pour la passerelle et 40 \$ par thermostat (incluant l'installation).¹⁰ Le nombre de thermostats par habitation varie de quatre pour les appartements à 10 pour les maisons unifamiliales. Le coût des

⁹ Le coût a été calculé en utilisant la DVU de l'équipement de chauffage principal pour chaque solution.

¹⁰ Les résultats de modélisation présentés dans l'outil *Chauffermieux.com* ont été produits avant l'annonce du plan d'efficacité énergétique d'Hydro-Québec à la fin avril 2025 présentant la nouvelle offre Hilo de thermostats intelligents gratuits pour la clientèle résidentielle.

thermostats intelligents pour les systèmes centraux est une moyenne des prix de vente de différents fabricants et de l'installation par un électricien certifié.

Pour le secteur commercial, compte tenu des archétypes commerciaux modélisés (de petites à moyennes tailles) et le type de chauffage, le système de gestion dynamique de la pointe consiste en un (ou plusieurs) thermostat intelligent. Dans le cas où un système de gestion de l'énergie serait déjà en place, celui-ci pourrait aussi être utilisé, mais sans les coûts d'installation.

3.3.2 Mise à niveau du panneau électrique

La mise à niveau du panneau ou de l'entrée électrique est considérée pour les cas d'électrification complète. De plus, les systèmes biénergie des segments commerciaux nécessitent l'ajout d'un compteur électrique dédié aux équipements de chauffage principaux.

3.3.3 Aides financières disponibles

L'outil prend en compte les aides financières du gouvernement du Québec et des distributeurs applicables aux différents archétypes, en date de début avril 2025. Les programmes sous condition de revenu ou équivalents (ménages à faible revenu, limite de valeur foncière, etc.) ont été exclus de l'analyse par souci de simplicité, mais sont mentionnés dans les lignes directrices fournies aux utilisateurs, au cas où ils seraient éligibles et souhaiteraient en bénéficier.

Dans certains cas, les programmes peuvent être cumulés jusqu'à concurrence de valeurs maximales. L'outil additionne les aides financières lorsque possible tout en tenant compte des limites applicables. Lorsque le cumulatif n'est pas permis, Dunsky a sélectionné l'aide financière la plus avantageuse. Dans l'outil, les hyperliens de tous les programmes disponibles pour une solution donnée sont présentés; l'utilisateur peut donc choisir parmi ces programmes, bien que les aides financières ne puissent pas nécessairement être cumulées.

Résidentiel :

Administrateur	Programme	Technologie	Montant
Hydro-Québec	LogisVert	Thermopompe aérothermique	120 \$ par kbtu/h à -8°C
		Thermopompe géothermique	750 \$ par kbtu/h
		Stockage thermique	15 000 \$ (sans thermopompe) 22 000 \$ (avec thermopompe centrale)
		Gestion de la pointe	Boni de 15 à 25 % pour tarification dynamique ou abonnement Hilo
Gouvernement du Québec	Chauffez Vert (Retrait du mazout)	Conversion du mazout au tout électrique	1 275 \$ par maison individuelle 875 \$ par maison en rangée 550 \$ par appartement (ind. ou multi.)
	Chauffez Vert (Biénergie gaz-électricité)	Système à air pulsé en biénergie	Maison et appartement : 6 800 \$ Multilogement : 1 600 \$ x nbre de logements

Administrateur	Programme	Technologie	Montant
		Système hydronique en biénergie	Maison et appartement: 3 600 \$ + jusqu'à 2 200 \$ pour mise à niveau électrique Multilogement : 1 500 \$ x nbre de logements + jusqu'à 5 300 \$ pour mise à niveau électrique
Énergir	Programme d'encouragement à la décarbonation (PED)	Biénergie-GNR ou 100% GNR	200 \$ par tCO ₂ évitée à l'an 1, avec un engagement minimal de 5 ans

Commercial :

Administrateur	Programme	Technologie	Montant
Hydro-Québec	Solutions efficaces (OSE 5.1)	Thermopompe aérothermique - bibloc	Climat froid : 59 \$ par kbtu/h à 8°C Standard : 51 \$ par kbtu/h à 8°C
		Thermopompe aérothermique - centrale	Climat froid : 715 \$ par btu/h Standard : 85 \$ par btu/h
		Thermopompe unité de toit	Climat froid : 715 \$ par kW Standard : 85 \$ par kW
		Thermopompe géothermique	2 050 \$ par kW
		Stockage thermique	56 \$ par kWh
Gouvernement du Québec	Écoperformance (Implantation standard)	Efficacité énergétique ou conversion	125 \$ par tCO ₂ évitée sur 10 ans, PRI min de 3 ans, max 75% du coût incrémental
	Écoperformance (Biénergie CI)	Tout équipement en configuration biénergie	80 % du surcoût (incl. compteur et mise à niveau élec.), max 150 000 \$
	Écoperformance (Implantation simplifiée)	Conversion du mazout au tout électrique	Commerce et multilogement : 2 \$/L de mazout économisé
Énergir	Programme d'encouragement à la décarbonation (PED)	Biénergie-GNR ou 100% GNR	200 \$ par tCO ₂ évitée à l'an 1, avec un engagement minimal de 10 ans

3.3.4 Projections des prix de l'énergie

Dunsky a établi des prévisions des tarifs d'énergie sur la base de diverses sources publiques, de réglementations à venir et de jugements professionnels. Chaque source d'énergie est détaillée ci-dessous. Les tarifs de base d'énergie ont été mis à jour en avril 2025, suivant les plus récentes décisions réglementaires de la cause tarifaire 2024 d'Hydro-Québec.¹¹

Nous avons également produit une analyse de sensibilité pour refléter les variations et incertitudes quant à l'évolution possible des coûts de l'énergie d'ici les 30 prochaines années. Cependant, dans sa forme actuelle, l'outil *Chauffermieux.com* ne reflète actuellement pas les fourchettes basse et haute de cette analyse de sensibilité. Seule la projection moyenne des coûts est prise en compte. Les analyses de sensibilité pourront être intégrées dans une version ultérieure de l'outil.

Les prix et tarifs présentés ci-dessous sont à titre d'information et sont simplifiés par rapport au niveau de détail prévu dans l'outil. Par exemple, la tarification des volumes de gaz est régressive et par paliers, ce qui est pris en compte dans la modélisation, sans être présenté ci-dessous.

Également, les tarifs biénergie applicables sur l'électricité sont inclus dans l'outil, tout comme les tarifs optionnels en gestion de la demande (p. ex : Flex D), les crédits sur la facture pour la gestion de la pointe comme Hilo ou le crédit hivernal.

Finalement, bien que la tarification de l'électricité pour le secteur résidentiel ne comporte pas de volet lié à l'appel de puissance (kW), c'est le cas pour la clientèle commerciale. Puisque HEAT^{mc} modélise chaque heure de l'année, il nous est possible de calculer automatiquement la pointe du bâtiment facturée pour chaque équipement et configuration énergétique.

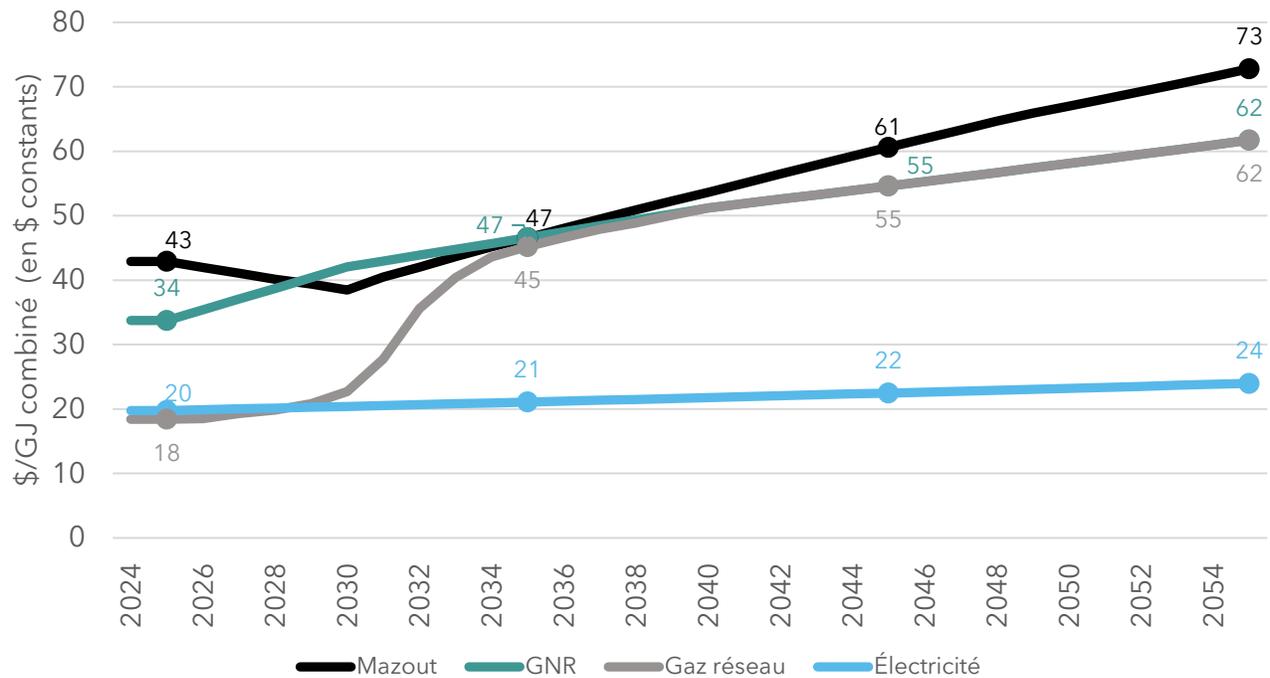
Finalement, il est à noter que les projections conservent la structure tarifaire actuelle.

Le tableau ci-bas présente les sources de données utilisées pour déterminer les prix de base en date d'avril 2025 et l'évolution future des coûts par source d'énergie. Les graphiques ci-bas illustrent le scénario « moyen » de l'évolution future des coûts d'énergie.

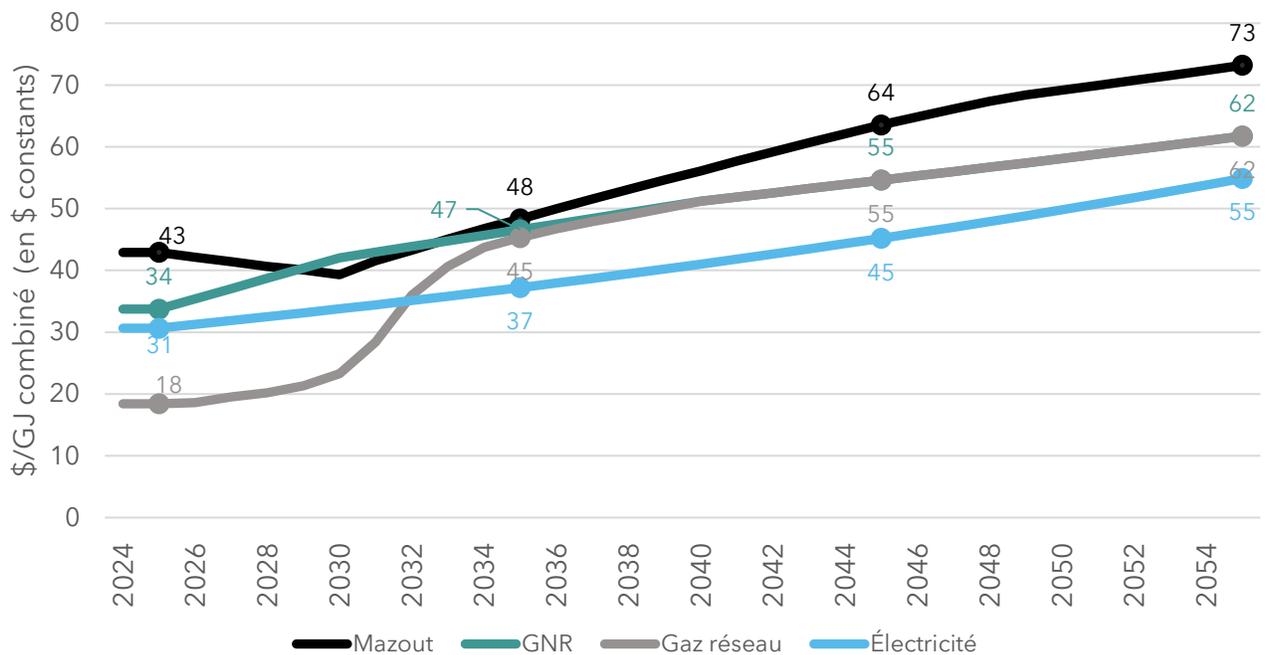
Énergie	Prix de base (2025)	Projection future
Électricité	Tarifs d'Hydro-Québec	Cause tarifaire Hydro-Québec 2024 Inflation de 3% (résidentiel) et de 3,6% (commercial)
Mazout	Ressources naturelles Canada	Gouvernement du Canada - Avenir énergétique du Canada en 2023 - Offre et demande énergétiques à l'horizon 2050
Gaz naturel	Tarifs d'Énergir	
GNR	Tarifs d'Énergir SPEDE : Coûts évités, cause tarifaire 2022 d'Énergir	Dunsky : Coûts de distribution, fourniture, équilibrage et transport SPEDE : Coûts évités, cause tarifaire 2022 d'Énergir

¹¹ Cependant, il est à noter que les intrants ont été développés avant la fin de l'étude du projet de loi 69. Une version future de l'outil pourra inclure les structures et projections tarifaires qui pourraient en découler.

Résidentiel :



Commercial :



Il est à noter que l'hypothèse est que le réseau gazier se décarbone d'ici 2040, en lien avec les objectifs de la Ville de Montréal, d'Énergir et du gouvernement du Québec pour le secteur des bâtiments. Ainsi, le volume de GNR compris dans le réseau gazier augmente graduellement pour atteindre 100% de GNR en 2040 pour les bâtiments, ce qui impacte non seulement les projections tarifaires du réseau gazier, mais également les projections d'intensité d'émissions de celui-ci.

Le recours au gaz naturel renouvelable vise à réduire les émissions de GES du réseau de gaz naturel. Actuellement, le GNR est produit le plus couramment à partir de la biométhanisation de matière organique résiduelle (des lieux techniques d'enfouissement, des déchets organiques municipaux, des boues des stations d'épuration des eaux usées et du fumier animal). D'autres approches existent pour produire du GNR à partir de l'hydrogène ou de biomasse forestière. De façon générale, les procédés de production du GNR ont des implications importantes sur son prix.

De plus, la quantité de matière première étant limitée, le GNR ne sera pas en mesure de combler les besoins actuels en gaz naturel. Par exemple, l'American Gas Foundation estime que le biométhane pourrait répondre à 5 à 12 % de la demande de gaz des États-Unis, tandis que le Natural Resource Defence Council estime que cette proportion s'élève à 3 à 7 %. Considérant les quantités définies de GNR qui pourront être produites dans le futur, les usages du GNR sont une source de débats, à savoir si cette énergie alternative devrait être réservée pour des usages plus difficiles à décarboner (p. ex. des procédés industriels) que le chauffage des bâtiments.

Finalement, toutes les sources de GNR ne s'équivalent pas en termes d'émissions de GES. L'intensité carbone du GNR, déterminée par l'analyse du cycle de vie, varie selon la matière première utilisée, la méthode de production et de transport, ainsi que les usages finaux. Certaines formes de GNR peuvent représenter un ajout net de GES dans l'atmosphère.

3.3.5 Projections des émissions de GES

L'intensité carbone des sources d'énergie et leur évolution sont présentées au tableau suivant.

Source d'énergie	Intensité carbone (t. éq. CO ₂ /GJ)			
	2025	2035	2045	2055
Électricité	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
Mazout	0,0710	0,0710	0,0710	0,0710
Gaz réseau (mixte gazier)	0,0507	0,0053	0,0006	0,0006
GNR	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006

Les facteurs d'émission de l'électricité, du gaz naturel et du mazout sont ceux publiés par Transition énergétique Québec et les émissions fugitives ne sont pas incluses dans les modélisations. Les facteurs d'émission sont maintenus constants tout au long de la période à l'étude, à l'exception du gaz réseau. L'intensité carbone du gaz naturel dit « gaz réseau » est calculé sur la base d'un mélange de gaz naturel de source fossile et de GNR¹², avec une part croissante de GNR dans le réseau jusqu'à atteindre 100% de GNR pour le secteur des bâtiments en 2040.

Le GNR est considéré dans les analyses comme étant des sources décarbonées, avec une intensité carbone de l'ordre de celle de l'électricité, bien que nous reconnaissons que la source de GNR et la base de référence utilisée pour déterminer le facteur d'émission pourraient fortement affecter cette

¹² La part de GNR dans le gaz réseau représente seulement la portion socialisée, c'est-à-dire les volumes autres que ceux destinés à la consommation volontaire de GNR.

hypothèse. Néanmoins il est présumé qu'Énergir sera en mesure de s'approvisionner en GNR dit carboneutre, et ce, aux volumes requis.

3.4 Données climatiques

Le modèle HEAT™ nécessite des températures horaires de l'air extérieur pour chaque juridiction modélisée - tout comme les simulations des archétypes par l'équipe de Concordia.

Au lieu de fichiers climatiques rétrospectifs (comme les fichiers CWEC habituellement utilisés en simulation énergétique), nous avons décidé d'utiliser des fichiers climatiques représentant mieux le climat futur, plutôt que passé.

Année météorologique canadienne pour le calcul de l'énergie (CWEC)

"564 ensembles de données créés en joignant douze mois météorologiques types sélectionnés dans une base de données contenant jusqu'à 30 ans de données horaires CWEEDS. Les mois sont choisis en comparant statistiquement les moyennes mensuelles individuelles avec les moyennes mensuelles à long terme pour le rayonnement global total quotidien, la température moyenne, minimale et maximale du thermomètre sec, la température moyenne, minimale et maximale du point de rosée, et la vitesse moyenne et maximale du vent".¹³

Les fichiers météorologiques du Pacific Climate Impacts Consortium¹⁴ ont été publiés pour représenter le climat des années 2020, 2050 et 2080. Nous avons choisi le climat des années 2020. Il convient de noter que si un fichier climatique prospectif est utilisé, il ne change pas au cours de la durée de vie de l'équipement.

¹³ Environnement Canada. [Jeux de données climatiques d'ingénierie](#).

¹⁴ Consortium sur les impacts climatiques du Pacifique. (2022). [Fichiers météo, version 2.2](#).

Annexe A

Rapport d'analyse et de modélisation de l'équipe de Concordia (ci-joint)

Outil d'aide à la décision pour la décarbonisation des bâtiments | Plan Climat de Montréal

Envoyé à Dunsky Energy + Climate Advisors et le PCM



Par : Mostafa Saad, Ahmed Fayed, Oriol Gavalda, Ursula Eicker

Institut de Villes de Nouvelle Génération, Université Concordia

Révision – 17/09/2024

Sommaire exécutif

L'équipe de Concordia, avec le soutien et la révision de Dunsky et de l'ETS a développé une étude pour développer des bâtiments représentatifs pour développer un outil d'aide à la décision pour la décarbonisation des bâtiments.

Ce document présente une analyse complète des données sur les bâtiments pour l'île de Montréal, en se concentrant sur les différents types de bâtiments et leurs caractéristiques de construction. L'étude vise à fournir des informations précieuses pour les initiatives d'efficacité énergétique et de décarbonisation, ainsi que pour l'élaboration de politiques dans la région.

La recherche utilise un éventail de sources de données, en s'appuyant principalement sur la documentation et les données géospatiales de l'Université Concordia. Ces sources constituent la base des analyses statistiques et de la catégorisation des bâtiments à Montréal. La méthodologie employée dans cette étude comporte quatre étapes : premièrement, elle implique l'extraction de données pour différents types de bâtiments, et deuxièmement, elle applique des techniques de regroupement géométrique pour identifier efficacement les bâtiments représentatifs. Troisièmement, les archétypes représentatifs identifiés sont enrichis de données sur les caractéristiques des bâtiments. Enfin, un modèle énergétique automatisé détaillé est créé pour simuler les données de performance horaire sur une année complète.

L'analyse couvre plusieurs catégories de bâtiments, chacune ayant des caractéristiques et des profils énergétiques uniques. Ces catégories comprennent les bâtiments commerciaux attenants et indépendants, les bureaux, les maisons individuelles, les maisons en rangée et les logements collectifs. Cette dernière catégorie est divisée en deux sous-catégories basées sur les sections applicables du code du bâtiment (partie 9 et partie 3), reflétant les différences de taille et de complexité.

Une partie importante de l'étude est consacrée à l'analyse statistique du parc immobilier de Montréal. Cette analyse fournit une vue d'ensemble complète, mettant en évidence la distribution et les caractéristiques des différents types de bâtiments.

L'un des aspects clés de l'étude est le processus de regroupement géométrique. Cette approche permet de regrouper les bâtiments en fonction de leurs caractéristiques physiques et de leurs relations spatiales. Les résultats de ce processus de regroupement sont présentés pour chaque catégorie de bâtiments, ce qui permet de comprendre les typologies de bâtiments typiques. La méthodologie suivie à niveau globale a donné comme résultat un total de 50 cas d'analyse :

Les données sur la construction sont compilées à l'aide d'ensembles de données complets en intégrant les données ÉnerGuide, les données du CNEB, les données d'enquête et les publications nationales. Des couches de construction typiques basées sur les données analysées ont été créées pour chaque typologie de bâtiment. En outre, des modèles énergétiques de bâtiments (BEM) ont été créés pour tous les bâtiments représentatifs à l'aide d'un processus qui combine les enregistrements géométriques publics et l'enrichissement des données de construction, puis simulés à l'aide du moteur de simulation EnergyPlus. Le résultat est exporté en 8760 valeurs horaires, résumant la performance de chaque archétype représentatif.

En conclusion, cette étude complète du parc immobilier de Montréal offre une mine d'informations à un large éventail de parties prenantes. Qu'il s'agisse d'urbanistes, de décideurs, d'analystes énergétiques ou de concepteurs de bâtiments, les informations fournies dans ce rapport peuvent avoir un impact significatif sur la décarbonisation et la modernisation de l'environnement bâti de Montréal. En combinant l'analyse géospatiale, les méthodes statistiques et les données de construction, l'étude présente une vue holistique des bâtiments de la ville, ouvrant la voie à une prise de décision plus éclairée en matière de développement urbain et d'efficacité énergétique.

1. Index

1.1. Tableau des matières

Sommaire executif	2
1. Index	4
1.1. Tableau des matières	4
1.2. Index de figures	6
1.1. Index de tableaux	7
2. Objectifs du document.....	9
3. Antécédents	9
3.1. Documentation utilisée par Concordia.....	9
Données géospatiales.....	9
4. Analyses statistiques pour l'île de Montréal	13
5. Méthodologie d'extraction des données pour chaque type de bâtiment	19
5.1. Description des données utilisées.....	19
5.2. Maisons en rangée.....	23
5.3. Multi logement partie 9 du code	24
5.4. Multi logement partie 3 du code	25
6. Méthodologie de regroupement géométrique (clustering)	26
7. Résultats du processus de regroupement.....	27
7.1. Commerciaux attachés	28
7.2. Commerciaux détachés	29
7.3. Bureaux	30
7.4. Maison unifamiliale.....	31
7.5. Maison en rangée	32
7.6. Multi-logement Partie 9 du code.....	33
7.7. Multi-logement Partie 3 du Code.....	34
8. Données constructives	35
8.1. Données de base.....	35
8.2. Prétraitement et extraction des données	37

EnerGuide dataset.....	37
Autres sources supplémentaires.....	38
HUB.....	40
8.3. Maison Unifamiliale.....	41
Couches de construction suggérées	41
Analyse des données ÉnerGuide	42
8.4. Maison en rangee	43
Couches de construction suggérées	43
Analyse des données ÉnerGuide	44
8.5. Multi-logement partie 9 du code	45
Couches de construction suggérées	45
Analyse des données ÉnerGuide	46
8.6. Multi-logement partie 3 du code	47
Couches de construction suggérées	47
8.7. Bureaux	48
Couches de construction suggérées	48
8.8. Commerciaux détachés	49
Couches de construction suggérées	49
8.9. Commerciaux attachés	50
Couches de construction suggérées	50
9. Simulation énergétique	51
9.1. Description	51
9.2. Validation des résultats.....	52
10. Conclusion	54
11. Références.....	54
12. Annexe 1 : Tableau-sommaire des archetypes.....	56

1.2. Index de figures

Figure 8: Couverture des données de RNCan (à gauche) et des bâtiments 3D de la Ville de Montréal (à droite).....	10
Figure 9: Correction de la hauteur des bâtiments à l'aide de données Lidar	11
Figure 10: Filtrage par zone pour le nettoyage des données (le vert montre le bâtiment sélectionné et le bleu la zone rejetée)	11
Figure 11 comparaison des données utilisées avec les données disponibles des bureaux de poste par code postal	12
Figure 12 superficie totale par type de bâtiment dans la ville de montréal	13
Figure 13 nombre de bâtiments par type de bâtiment dans la ville de Montréal	14
Figure 14 superficie des bâtiments non résidentiels	15
Figure 15 nombre de bâtiments non résidentiels	16
Figure 16 comparaison entre le nombre de bâtiments non résidentiels et leur surface totale (par type de bâtiment).....	17
Figure 17 surface moyenne par type de bâtiment	17
Figure 18 Distribution de la surface par millésime et par type de bâtiment	18
Figure 19 Catégories d'archétypes formées conceptuellement	19
Figure 20 Paramètres disponibles dans l'ensemble de données utilisé	20
Figure 21 Statistiques sur la typologie des bâtiments dans la ville de Montréal (Profile Table, Census Profile, 2021 Census of Population - Montréal, Ville (V) [Census Subdivision], Quebec, n.d.)	21
Figure 22 organigramme pour l'extraction des données relatives aux maisons individuelles	22
Figure 23 organigramme pour l'extraction des données relatives aux maisons en rangée	23
Figure 24 organigramme pour l'extraction des données relatives aux multi-logement partie 9 du code	24
Figure 25 organigramme pour l'extraction des données relatives aux multi-logement partie 3 du code	25
Figure 26 la nécessité d'utiliser le rapport surface/volume et le rapport d'aspect.....	26
Figure 27 flux de travail générique pour le processus de regroupement	27
Figure 28 : Image clustering et obtention centroïdes commerciaux	28
Figure 29 : Images des centroïdes trouvés commerciale	28

Figure 30 : Image clustering et obtention centroïdes commerciaux detachés	29
Figure 31 : Images des centroïdes trouvés commerciale détachée	29
Figure 32 : Image clustering et obtention centroïdes bureaux	30
Figure 33 : Images des centroïdes trouvés bureaux	30
Figure 34 : Image clustering et obtention centroïdes maison unifamiliale	31
Figure 35 : Images des centroïdes trouvés unifamilial	31
Figure 36 : Image clustering et obtention centroïdes maison unifamiliale en rangée	32
Figure 37 : Images des centroïdes trouvés unifamilial en rangée	32
Figure 38 : Image clustering et obtention centroïdes Multi logement partie 9	33
Figure 39 : Images des centroïdes trouvés multi logement partie 9	33
Figure 40 : Image clustering et obtention centroïdes Multi logement partie 3	34
Figure 41 : Images des centroïdes trouvés multi logement partie	34
Figure 42 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuidé	42
Figure 43 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuidé	44
Figure 44 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuidé	46
Figure 45 : Chauffage par mc par typologie de bâtiment	53
Figure 46 : Chauffage par mc par age du bâtiment	53
Figure 1 : Sommaire des archetypes pour maison unifamiliale	56
Figure 2 : Sommaire des archetypes pour maison en rangé	57
Figure 3 : Sommaire des archetypes pour appartements partie 9	57
Figure 4 : Sommaire des archetypes pour appartements partie 3	58
Figure 5 : Sommaire des archetypes pour commercial attaché	58
Figure 6 : Sommaire des archetypes pour commercial detaché	59
Figure 7 : Sommaire des archetypes pour bureaux	59

1.1. Index de tableaux

Tableau 1 Données statistiques de l'ensemble des données de l'EUÉM (Energy Use in Canada: Publications Natural Resources Canada, n.d.)	21
Tableau 2 Informations détaillées sur les centroïdes de chaque archétype	35
Tableau 3 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment	41

Tableau 4 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments	41
Tableau 5 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment.....	43
Tableau 6 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments	43
Tableau 7 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment.....	45
Tableau 8 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments	45
Tableau 9 Construction partie 3 du code valeurs	47
Tableau 10 Construction partie 3 du code matériaux.....	47
Tableau 11 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment.....	48
Tableau 12 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments	48
Tableau 13 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment.....	49
Tableau 14 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments	49
Tableau 15 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment.....	50
Tableau 16 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments	50

2. Objectifs du document

Ce document vise à définir le processus mis en œuvre pour générer des bâtiments archétypaux (prototypes) pour une multitude de typologies de bâtiments sur l'île de Montréal pour des superficies inférieures à 20,000 pieds carrés.

Ce rapport vise à présenter les hypothèses prises, les hypothèses considérées et sous-jacentes aux différentes sources de données utilisées. Les résultats du processus sont compilés dans différents formats de données (tableaux et images).

Cependant, nous voulons que ce document soit un document vivant et utile pour échanger entre l'équipe de Dunsky, l'ETS, l'équipe de Concordia et le PCM que puisse être amélioré dans les années suivantes. Pour cette raison, au sein des différents chapitres du document apparaîtront des enjeux qui validés par l'équipe de Dunsky et l'ETS, afin d'avancer au plus vite vers une constitution d'archétypes.

3. Antécédents

3.1. Documentation utilisée par Concordia.

Données géospatiales

Description des données

Afin de développer des archétypes géométriques adéquats, nous avons traité les ensembles de données existants disponibles pour obtenir les formes les plus courantes des bâtiments considérés. Le jeu de données suivant contient la collection de bâtiments au format geojson pour la ville de Montréal. Il a été créé en combinant plusieurs jeux de données open-source fournis par RNCAN et le gouvernement de la ville de Montréal. Les sources principales de données ont été :

1. Unités d'évaluation foncière de Montréal (<https://donnees.montreal.ca/dataset/unites-evaluation-fonciere>)
2. Bâtiments 3D de Montréal (modèle LOD2 avec textures) (<https://donnees.montreal.ca/dataset/batiment-3d-2016-maquette-citygml-lod2-avec-textures2>)
3. Ensemble de données aériennes Lidar de Montréal (<https://donnees.montreal.ca/dataset/lidar-aerien-2015>)
4. Empreintes de bâtiments de RNCAN (<https://open.canada.ca/data/en/dataset/7a5cda52-c7df-427f-9ced-26f19a8a64d6/resource/6609c6fa-4f26-4565-b570-6897c308f213>)
5. Couche 2 des données cadastrales pour le type d'utilisation désagrégé des bâtiments (<https://geoapp.bibl.ulaval.ca>)

Liste des modifications apportées aux jeux de données

1. Suppression des lots redondants de l'empreinte du bâtiment
2. Suppression des bâtiments en double (doublons d'unités de copropriété)
3. Ajout du quartier du bâtiment - "ADMIN_BOUNDARY"
4. Ajouter le centroïde du bâtiment - "CENTROID"
5. Supprimer les bâtiments dont l'année de construction est 9999

Traitement effectué

L'étude se concentre sur l'analyse des caractéristiques morphologiques des bâtiments individuels dans une zone spécifique, en utilisant une approche de données géospatiales multi-sources. Voici un résumé des étapes clés et des sources de données impliquées dans l'analyse :

- 1. Expansion des données:** Pour assurer une couverture complète, l'étude élargit les données sur les bâtiments en créant des bâtiments individuels au niveau des lots. Ceci est réalisé en divisant les empreintes dérivées du satellite sur la base des informations provenant des données parcellaires cadastrales de la ville.
 - a.** Les empreintes détaillées LOD3 obtenues de la ville de Montréal, bien que convenant à cette étude, n'étaient limitées qu'à 6 régions de la ville de Montréal et n'ont donc pas été sélectionnées comme base de l'étude, même si elles ont été utilisées pour calibrer les données. L'image ci-dessous montre la couverture de 3D CityGML par rapport à l'étude de RNCan qui a été sélectionnée.

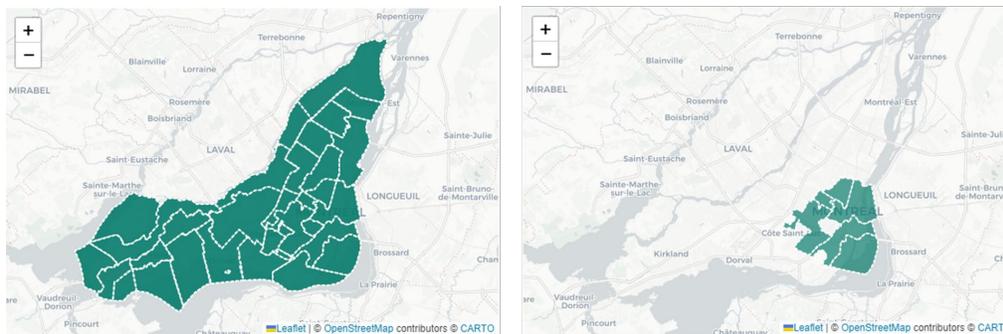


Figure 1: Couverture des données de RNCan (à gauche) et des bâtiments 3D de la Ville de Montréal (à droite)

- 2. Fractionnement des bâtiments et correction de la hauteur:** Les hauteurs des bâtiments sont incorporées dans le jeu de données à l'aide des données LiDAR, ce qui améliore la précision de l'analyse. Étant donné que la couche de données de RNCan obtenue n'était pas d'une résolution suffisante pour obtenir les hauteurs individuelles des bâtiments, les données de chaque bâtiment ont été ajoutées à l'aide des données LiDAR obtenues. Cette opération a été réalisée après que chaque bâtiment a été séparé d'un seul grand bloc à l'aide du lot cadastral.



Figure 2: Correction de la hauteur des bâtiments à l'aide de données Lidar

3. **Prétraitement des données:** Le jeu de données subit un prétraitement pour nettoyer et affiner les données. Il s'agit notamment d'éliminer les doublons et de supprimer les résidus de polygones grâce à des techniques de filtrage basées sur la superficie.

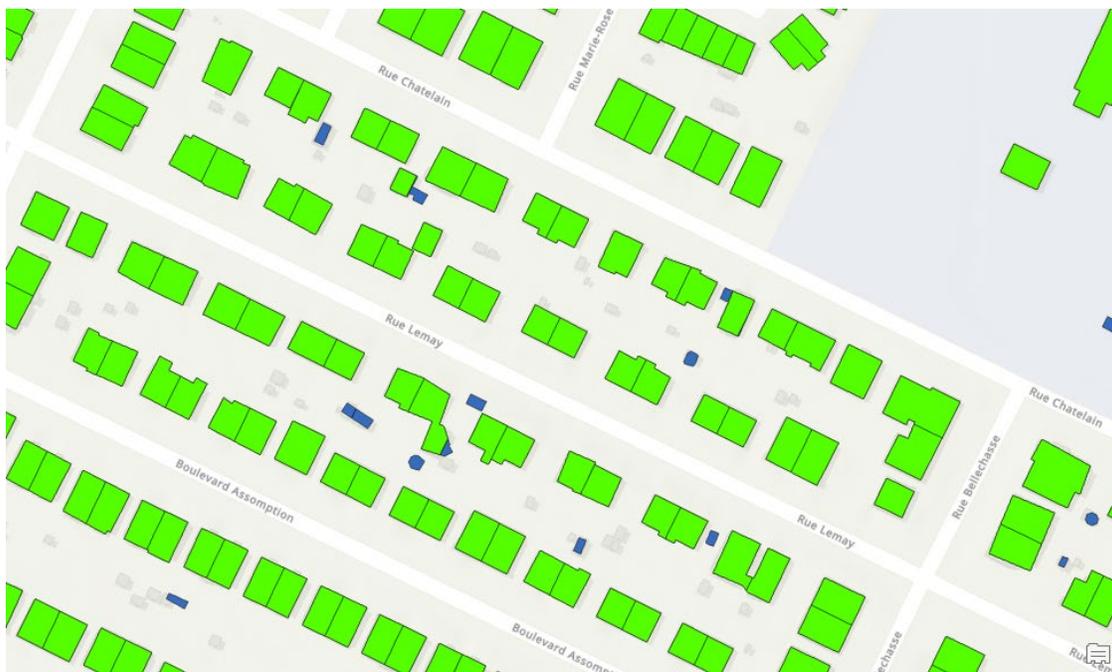


Figure 3: Filtrage par zone pour le nettoyage des données (le vert montre le bâtiment sélectionné et le bleu la zone rejetée)

4. **Caractéristiques morphologiques:** Les principales caractéristiques morphologiques des bâtiments, telles que le rapport d'aspect et le rapport surface/volume, sont calculées à l'aide d'opérations géométriques sur les données. Ces mesures donnent un aperçu de la forme des bâtiments.

5. **Conversion des données:** Les données géospatiales sont converties au format CSV, qui contient des caractéristiques spécifiques aux bâtiments. Ce format est bien adapté aux techniques d'analyse ultérieures, en particulier le regroupement par K-moyennes.

Validation des données avec des données censales

Comme résultat, nous avons obtenu un fichier détaillé geojson, avec les hauteurs des bâtiments, étages, numéro de logements, code utilisation, adresse, âge du bâtiment, et des autres caractéristiques existantes dans la base de données initiale. Pour les secteurs centrales (6 arrondissements), les données disponibles sont plus raffinées (CityGML), et nous les avons intégrées.

Nous avons comparé les données obtenus à travers les valeurs geospatiales et les valeurs du recensement (à niveau résidentiel). Même si nous trouvons deux quartiers où il y a des valeurs aberrantes, pour le reste, nous sommes assez alignés avec la réalité. Ça valide l'approche pris.

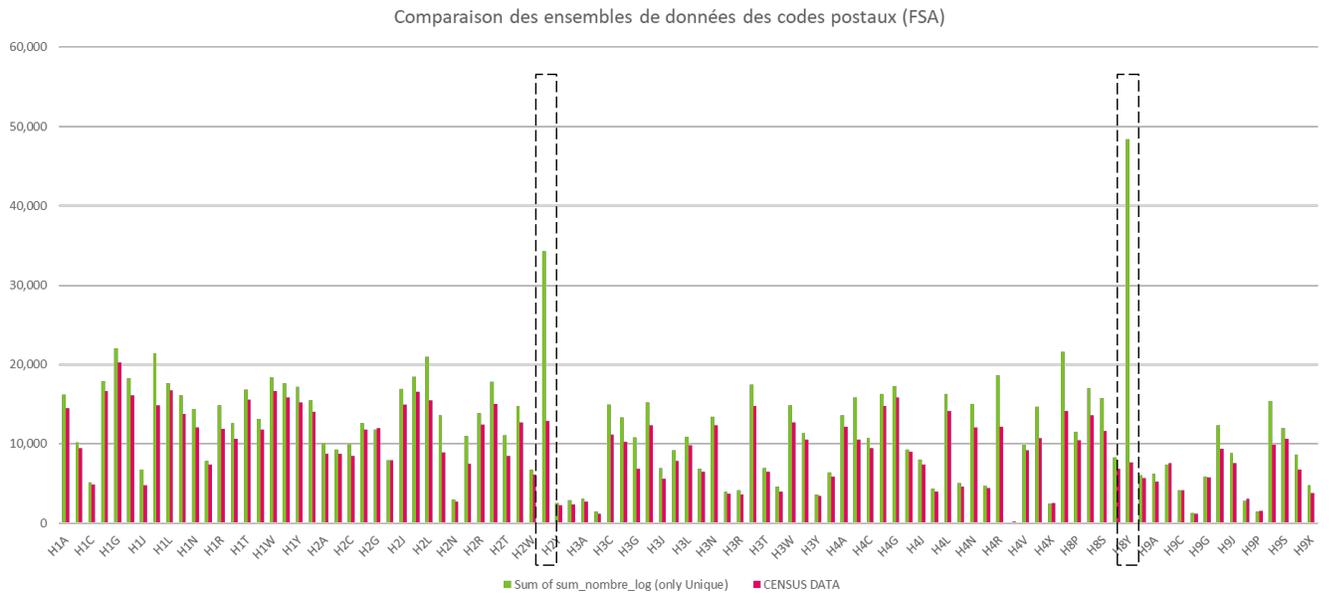


Figure 4 comparaison des données utilisées avec les données disponibles des bureaux de poste par code postal

4. Analyses statistiques pour l'île de Montréal

La majorité de la superficie est attribuée au secteur résidentiel, indiqué sous l'appellation "Logement", et représente la portion prépondérante du graphique. Les autres types de bâtiments comprennent les immeubles de bureaux, les édifices commerciaux, les installations d'entreposage, ainsi que des structures à vocation religieuse, des centres commerciaux régionaux, et d'autres catégories diversifiées.

Tous les analyses sont faits pour des bâtiments en dessous de 20,000 pied².

Chaque segment du graphique est coloré différemment pour faciliter la distinction entre les types de bâtiments. La multitude des segments minces indique une grande variété de catégories moins prédominantes, y compris les industries manufacturières, les services hospitaliers, les entrepôts, les centres de distribution, les transports automobiles, et les infrastructures éducatives telles que les écoles secondaires et élémentaires. On y trouve également des espaces pour les activités de loisirs, des maisons de retraite, et des espaces publics, ainsi que des institutions d'enseignement général et professionnel (C.E.G.E.P.) et des centres commerciaux de quartier.

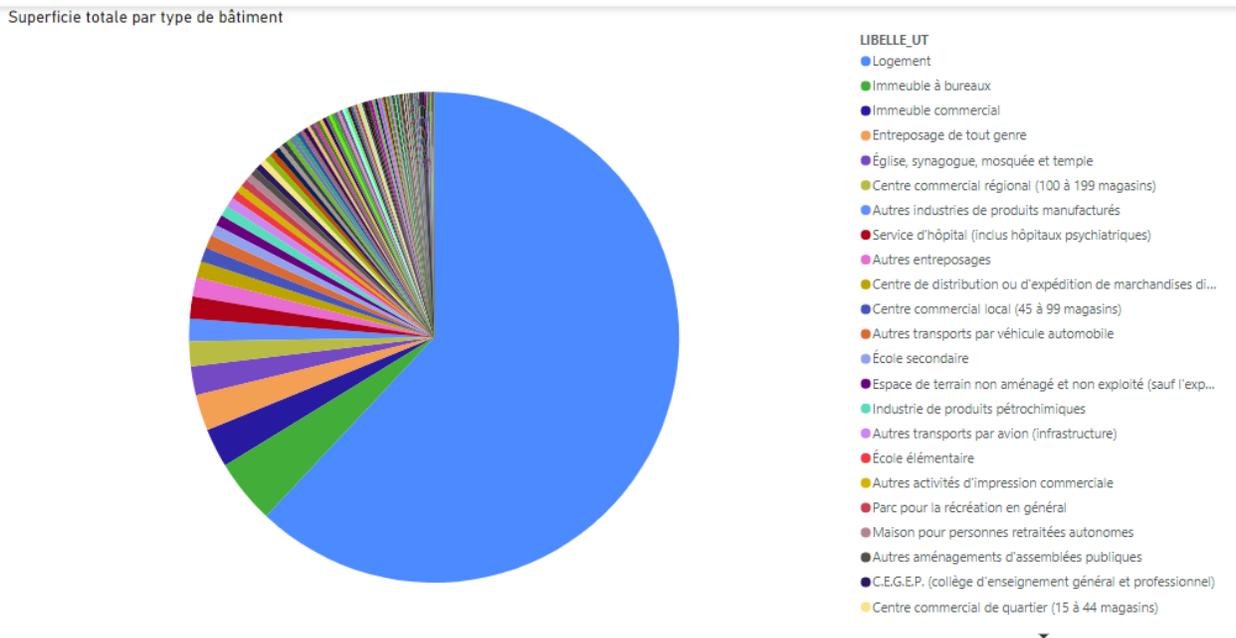


Figure 5 superficie totale par type de bâtiment dans la ville de Montréal

La présente analyse décrit la distribution des unités de logement sur l'île de Montréal. Le diagramme circulaire illustre la diversité du parc immobilier résidentiel et révèle les préférences en matière de logement dans cette région métropolitaine.

41% des unités de logement sont des appartements situés dans des immeubles de moins de cinq étages. Cette prédominance peut refléter une densité urbaine modérée, où les constructions de moyenne hauteur sont privilégiées. Par ailleurs, les appartements dans des immeubles de cinq

étages ou plus représentent 10% des unités, signifiant que les logements en hauteur occupent également une part significative du marché immobilier.

Les maisons individuelles non attenantes constituent 32% des logements, ce qui indique que les espaces pour les résidences unifamiliales autonomes sont présents, mais à une échelle moins étendue comparativement aux structures collectives. Suivant cette catégorie, les appartements ou plain-pied dans un duplex comptent pour 8%, ce qui démontre une offre variée qui peut répondre aux besoins d'un marché diversifié.

Les maisons jumelées (5%) et les maisons en rangée (3%) illustrent une préférence pour les logements partageant une ou plusieurs parois mitoyennes, ce qui est typique dans les zones résidentielles à forte densité. Enfin, les autres maisons individuelles attenantes (1%) et les logements mobiles (moins de 1%) suggèrent une présence marginale dans le paysage immobilier de l'île de Montréal.

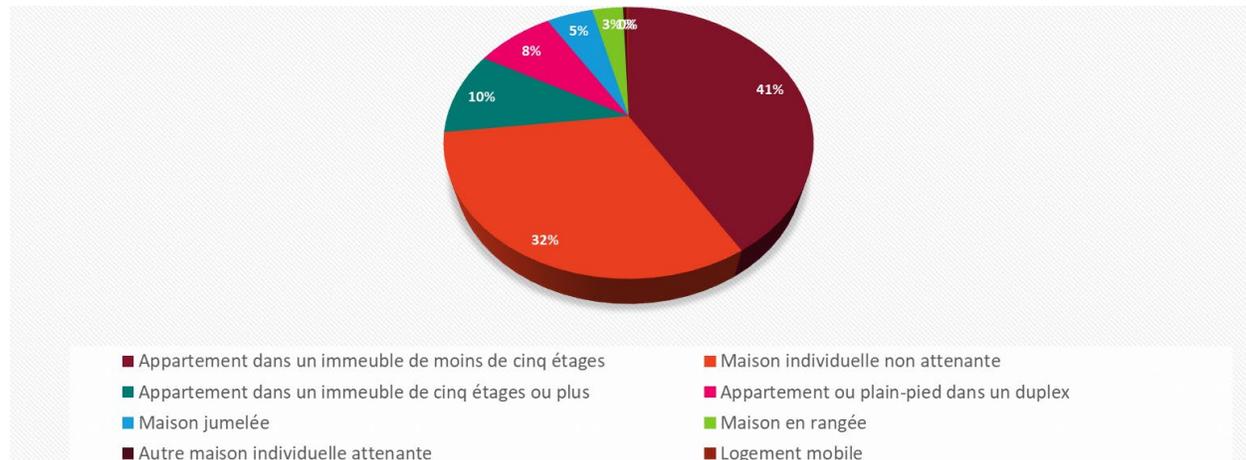


Figure 6 nombre de bâtiments par type de bâtiment dans la ville de Montréal

Les "Immeubles commerciaux" dominent nettement, représentant 25% de la superficie totale, ce qui reflète l'importance du commerce dans le tissu économique de l'île. Ensuite, "Le stationnement intérieur (condo)" et "Les autres transports par véhicule automobile" constituent des segments significatifs, soulignant l'importance de la mobilité et de l'infrastructure associée au stationnement dans la région.

Les espaces d'"Entreposage de tout genre" occupent également une place notable, tandis que les "Immeubles de bureaux" et les "Autres activités d'impression commerciale" sont des indicateurs de la présence de services professionnels et d'industries légères. Les "Autres industries de produits manufacturés" et les différentes formes de "Stationnement extérieur (condo)" complètent ce panorama économique.

Des installations telles que les "Hôtels (incluant les hôtels-motels)", "Église, synagogue, mosquée et temple" et "Maison de chambres et pension" sont également mises en avant, montrant une diversité d'infrastructures destinées à l'hébergement et aux services communautaires. Des services plus spécifiques tels que les "Services de garderie" et les "Centres de distribution ou d'expédition

de marchandises diverses" soulignent l'importance des secteurs de l'éducation précoce et de la logistique.

Surface bâtiments non résidentiels (m2)

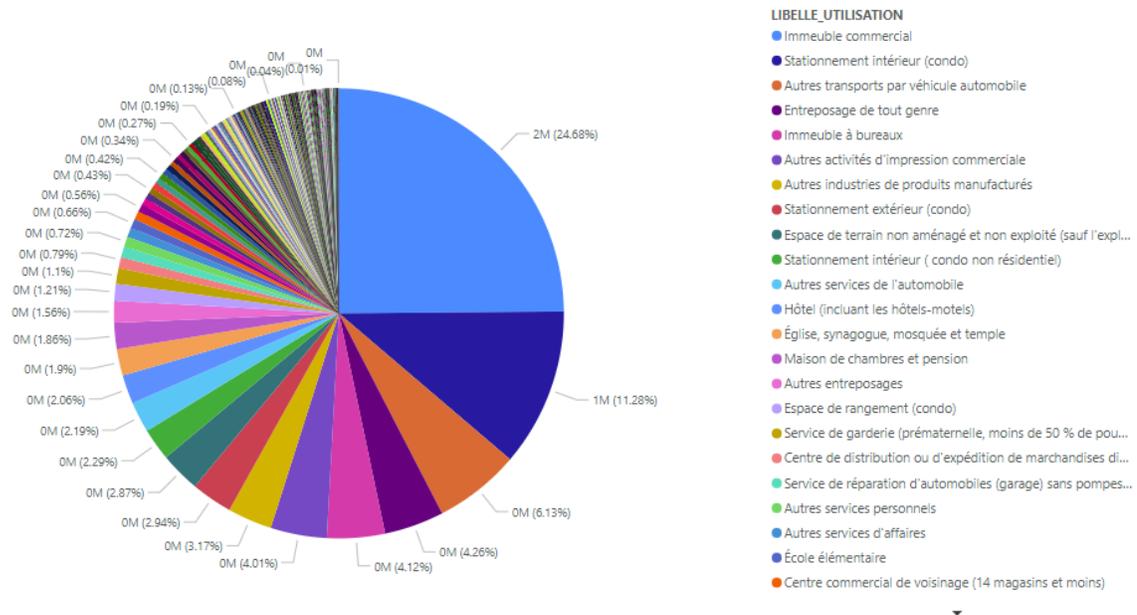


Figure 7 superficie des bâtiments non résidentiels

La catégorie la plus représentée avec 23,53% des bâtiments comptabilise 3,15 mille unités, tandis que la seconde plus grande catégorie comprend 2,06 mille bâtiments, constituant 15,38% du total. Ces proportions significatives indiquent une concentration dans ces types de bâtiments, reflétant possiblement des pôles économiques ou des zones d'activités spécialisées.

Des catégories moins représentées, avec des pourcentages s'échelonnant de 1% à 5%, suggèrent une diversification des types de bâtiments non résidentiels, allant de l'industrie légère aux services, en passant par le commerce et les institutions. L'étalement des faibles pourcentages sur un grand nombre de catégories dénote une diversité qui pourrait être le reflet d'un paysage urbain dynamique et multifonctionnel.

Les variations dans le nombre de bâtiments par catégorie soulèvent des points d'intérêt pour l'aménagement urbain et la planification économique, indiquant des domaines potentiels pour le développement, l'investissement et l'intervention stratégique de la part des autorités municipales.

Número bâtiments non résidentiels

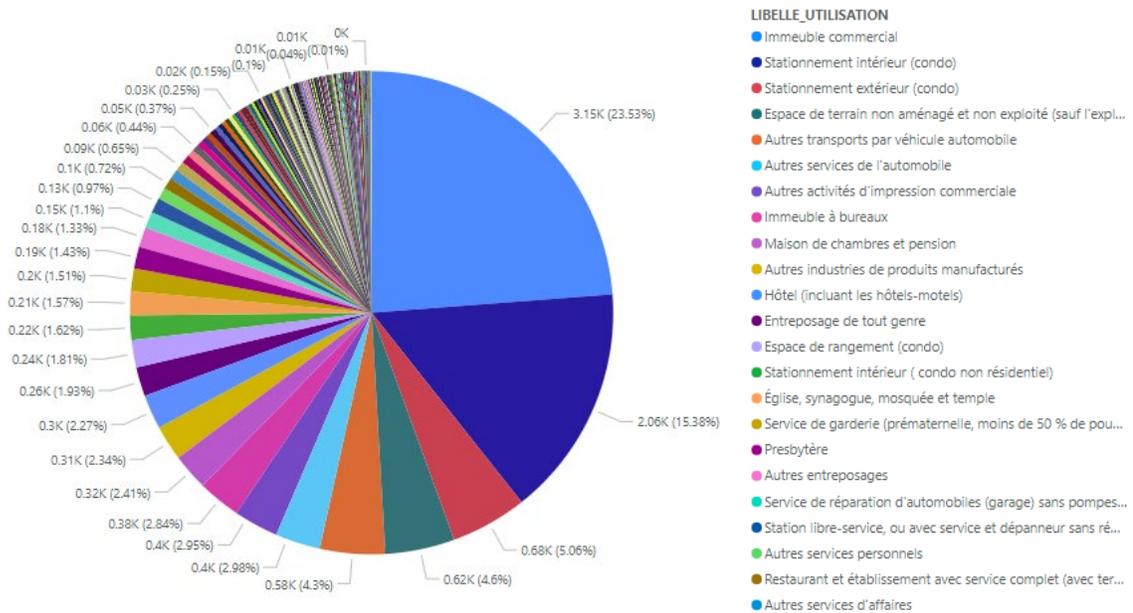


Figure 8 nombre de bâtiments non résidentiels

On observe une prédominance du nombre de bâtiments commerciaux, qui surpassent largement les autres catégories en termes de quantité. Toutefois, la courbe illustrant la superficie totale de ces bâtiments démontre une décroissance moins prononcée, suggérant que bien que les bâtiments commerciaux soient plus nombreux, ils n'ont pas nécessairement la plus grande superficie individuelle.

Les bâtiments à bureaux suivent en nombre, mais présentent une superficie cumulée qui les positionne de manière significative dans l'espace urbain. Les hôtels, quant à eux, montrent une distribution plus équilibrée entre le nombre de bâtiments et leur superficie totale.

Les bâtiments à usage religieux, les écoles, et les restaurants présentent à la fois un nombre réduit de bâtiments et une superficie moins importante, ce qui les situe dans une catégorie de moindre impact numérique et spatial comparativement aux usages commerciaux et de bureaux.

Cette analyse indique que les bâtiments commerciaux et à bureaux constituent une part substantielle de l'infrastructure non résidentielle de Montréal.

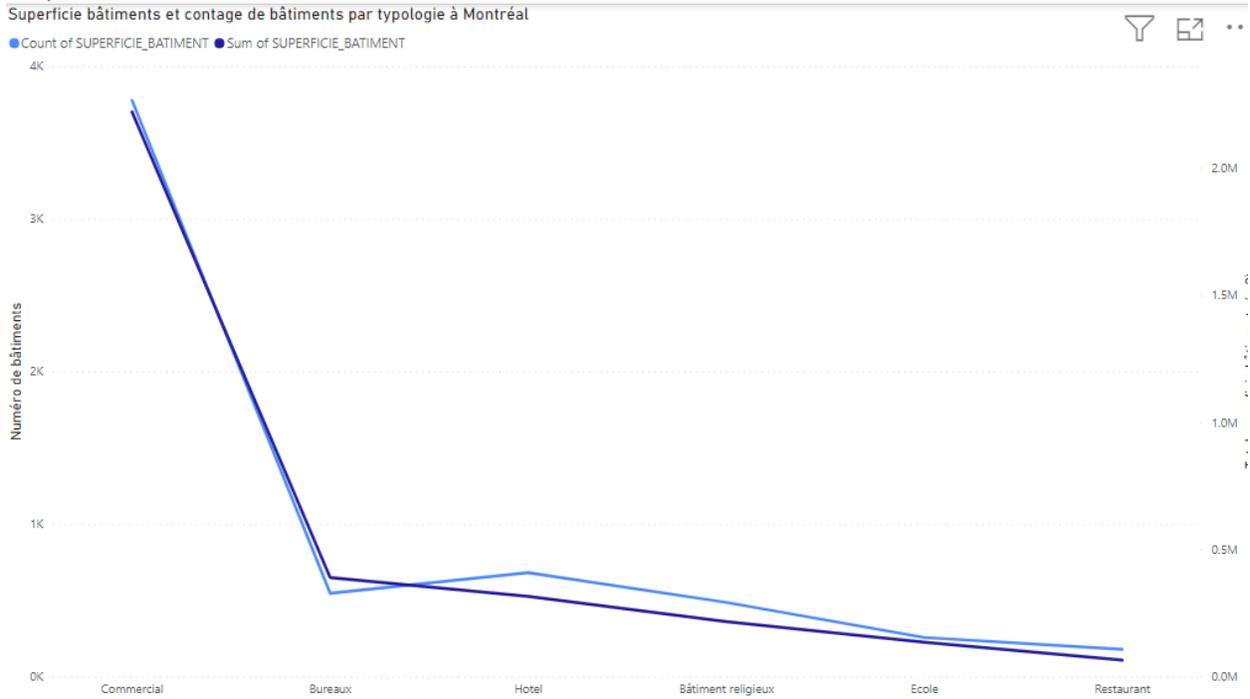


Figure 9 comparaison entre le nombre de bâtiments non résidentiels et leur surface totale (par type de bâtiment)

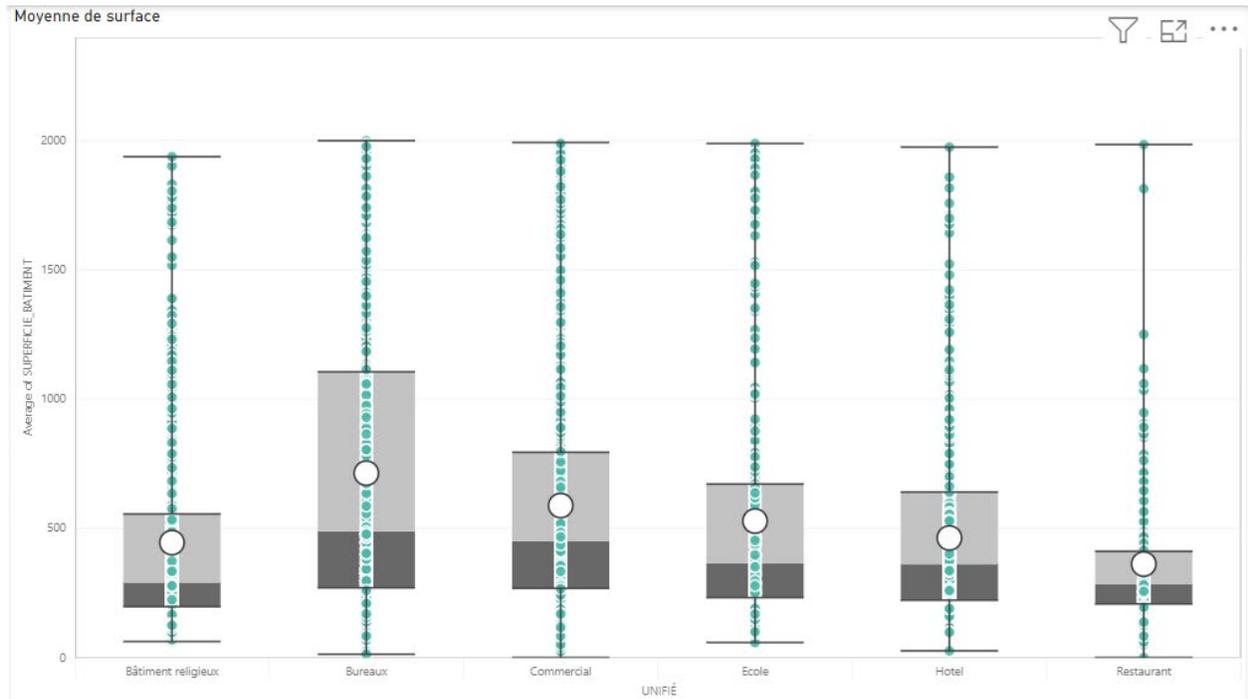


Figure 10 surface moyenne par type de bâtiment

Les données historiques remontent à l'époque allant de 1600 à 1900 et s'étendent jusqu'à l'ère contemporaine (2011-2023).

Dans la catégorie des bâtiments "Commerciaux," une proportion notable de la superficie a été construite entre 1951 et 1980, ce qui peut indiquer une période de croissance économique et de développement commercial durant ces années. Pour les "Bureaux," la construction semble avoir été particulièrement active entre 1981 et 2010, une période probable de modernisation et d'expansion du secteur des services.

Les "Hôtels" montrent une augmentation substantielle de la superficie construite récemment, de 2011 à 2023, signalant peut-être un développement récent du tourisme ou de l'hospitalité à Montréal. Les "Bâtiments religieux," quant à eux, ont une distribution plus uniforme au fil des périodes, ce qui peut refléter une constance dans les besoins ou les pratiques religieuses.

Les "Écoles" montrent également une superficie significative construite entre 1981 et 2010, indiquant des investissements dans l'infrastructure éducative durant cette période. Les "Restaurants" présentent une construction relativement constante au fil des années, avec un léger pic dans la période récente de 2011-2023.

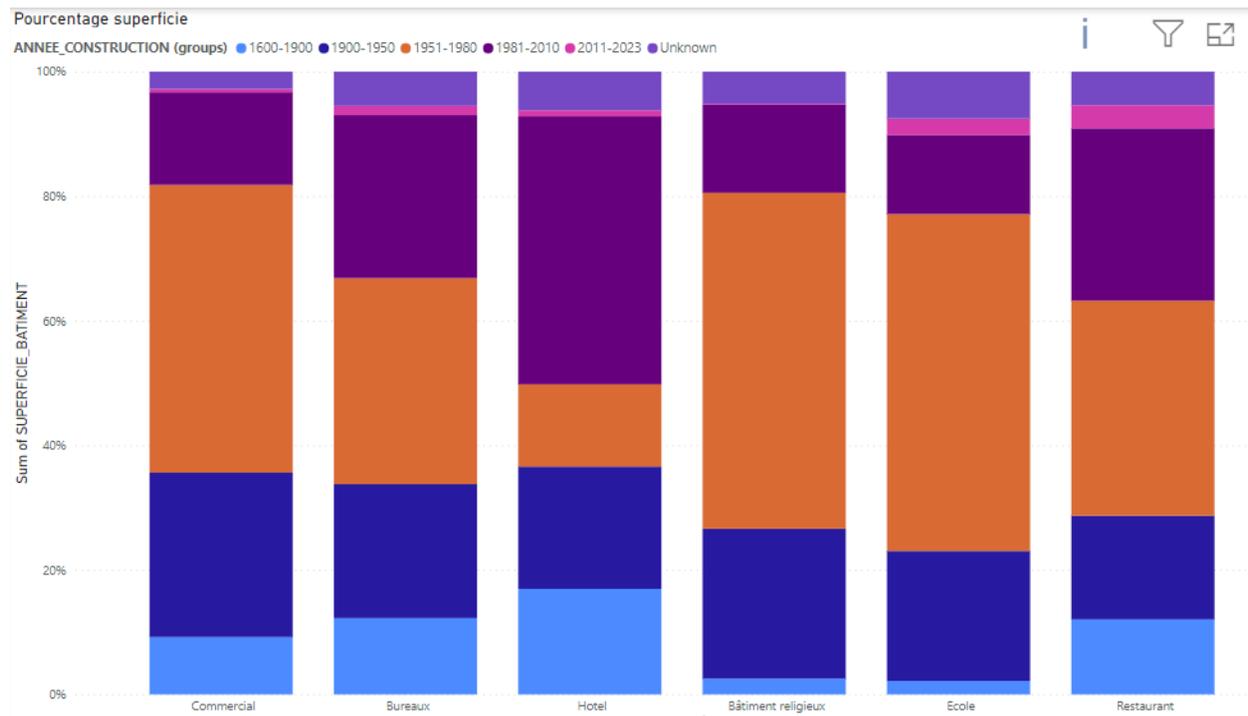


Figure 11 Distribution de la surface par millésime et par type de bâtiment

5. Méthodologie d'extraction des données pour chaque type de bâtiment

Basé en l'analyse précédent, l'équipe Concordia-ETS-Dunsky a décidé de sélectionner un maximum de 7 archétypes de bâtiments. Le rapport présente les archétypes proposés pour l'environnement bâti urbain de la ville de Montréal, mettant l'accent sur des catégories spécifiques. Les bâtiments résidentiels sont classés en maisons unifamiliales, maisons en rangée et immeubles résidentiels multi-unités aux densités variées. Les espaces de bureaux sont regroupés en une catégorie unique en raison de leurs schémas de consommation énergétique uniformes, tandis que les espaces commerciaux sont identifiés comme étant soit détachés, soit attachés à d'autres bâtiments. Il convient de noter que le système de classification concerne des structures jusqu'à une superficie maximale de 1858 mètres carrés, offrant un cadre précis pour l'analyse de la consommation énergétique et les initiatives subséquentes d'efficacité énergétique.

Résidentiel	Bureaux	Commercial	Millésimes de construction
<ul style="list-style-type: none">• Logement unifamilial• Unifamilial En rangé• Multi-logement partie 9 du code• Multi-logement partie 3 du code	<ul style="list-style-type: none">• immeubles de bureaux	<ul style="list-style-type: none">• Bâtiment commercial dettachee• Bâtiment commercial attachee	<ul style="list-style-type: none">• Avant 1946• 1947 – 1983• 1983 – 2010• Après 2010 (Exclu pour les immeubles non résidentiel)

Figure 12 Catégories d'archétypes formées conceptuellement

5.1. Description des données utilisées

Les données utilisées pour ce projet ont été scrupuleusement collectées à partir de jeux de données accessibles au public, disponibles principalement sur les sites web officiels du gouvernement du Canada et de la ville de Montréal. Des informations complémentaires ont été obtenues grâce au jeu de données du bureau d'évaluation des taxes foncières. Ces sources de données disparates ont été compilées géospaialement, permettant ainsi l'enrichissement et la fusion de différents segments d'information. De plus, une série de calculs a été effectuée pour déterminer les paramètres qui seront utilisés dans le processus de regroupement, assurant ainsi un cadre de données complet et robuste pour l'analyse.

ID_UEV: Identifiant unique de l'Unité Environnementale Urbaine, souvent utilisé à des fins de planification ou administratives.

MATRICULE8: Un code d'identification spécifique, possiblement pour des propriétés ou parcelles dans une base de données municipale ou de planification.

CIVIQUE_DE: Le numéro civique de départ d'une rue pour une propriété ou un lot, indiquant la limite inférieure de la plage d'adresses.

CIVIQUE_FI: Le numéro civique de fin d'une rue pour une propriété ou un lot, indiquant la limite supérieure de la plage d'adresses.

NOM_RUE: Le nom de la rue où se situe la propriété ou l'unité.

year: L'année de construction ou l'année à laquelle les données se rapportent.

maincategory: Une classification principale pour le type d'unité ou de propriété, tel que résidentiel, commercial ou industriel.

subcategory: Une classification plus spécifique au sein de la catégorie principale, fournissant plus de détails sur le type de propriété.

footprint_area: La superficie au sol couverte par le bâtiment ou la structure, généralement mesurée en mètres carrés ou en pieds carrés.

height: La hauteur du bâtiment ou de la structure, souvent mesurée en mètres ou en pieds.

Shape_Length: La longueur totale du périmètre du bâtiment

Shape_Area: La superficie totale enclose par la limite

vol: Volume du bâtiment

AR: Ratio d'Aspect, se référant généralement au rapport entre la largeur et la hauteur

total_area: La superficie totale du bâtiment, additionnant les surfaces de tous les étages, souvent utilisée pour évaluer la taille du bâtiment et la capacité d'occupation.

Envelope Area: Se réfère généralement à la superficie extérieure totale d'un bâtiment, incluant les murs

A/V: Un paramètre qui pourrait représenter un nouveau calcul ou rapport lié à la Surface au Volume (S/V)

Figure 13 Paramètres disponibles dans l'ensemble de données utilisé

Les étapes ultérieures de la recherche ont inclus l'extraction des points de données correspondant à chaque catégorie de bâtiment identifiée dans le jeu de données global. L'équipe de recherche a été confrontée à un défi significatif : l'absence d'indicateurs explicites dans le jeu de données permettant de distinguer aisément les typologies de bâtiments. Pour surmonter cette limitation, l'équipe a mis en œuvre un ensemble d'hypothèses judicieuses, afin de recueillir la composition de données la plus représentative pour refléter avec précision les typologies de bâtiments diverses. La section suivante décrit en détail la méthodologie et les paramètres d'entrée qui ont orienté ce processus complexe d'extraction de données.

L'analyse a débuté par l'extraction de données depuis le site web de Statistique Canada (*Profile Table, Census Profile, 2021 Census of Population - Montréal, Ville (V) [Census Subdivision], Quebec*, n.d.), dans le but de comprendre la répartition des différents types d'unités d'habitation à Montréal. Le graphique présenté offre une répartition détaillée des unités d'habitation, segmentées par typologie. Il en ressort que la catégorie prédominante est celle des 'Appartements dans un immeuble de moins de cinq étages', suivie, en quantités décroissantes, par les 'Appartements ou logements en duplex', 'Maisons en rangée', 'Maisons semi-détachées', et 'Maisons isolées'. Cette répartition met en lumière le paysage résidentiel de Montréal, et constitue un élément fondamental pour les étapes subséquentes de classification en archétypes urbains. Ces données sont essentielles pour identifier les tendances résidentielles et orienter les politiques de développement urbain dans la métropole. Ces chiffres seront utilisés comme mesure de vérification dans le cadre de notre analyse. Ils permettent de valider la pertinence des catégories d'archétypes résidentiels définis.

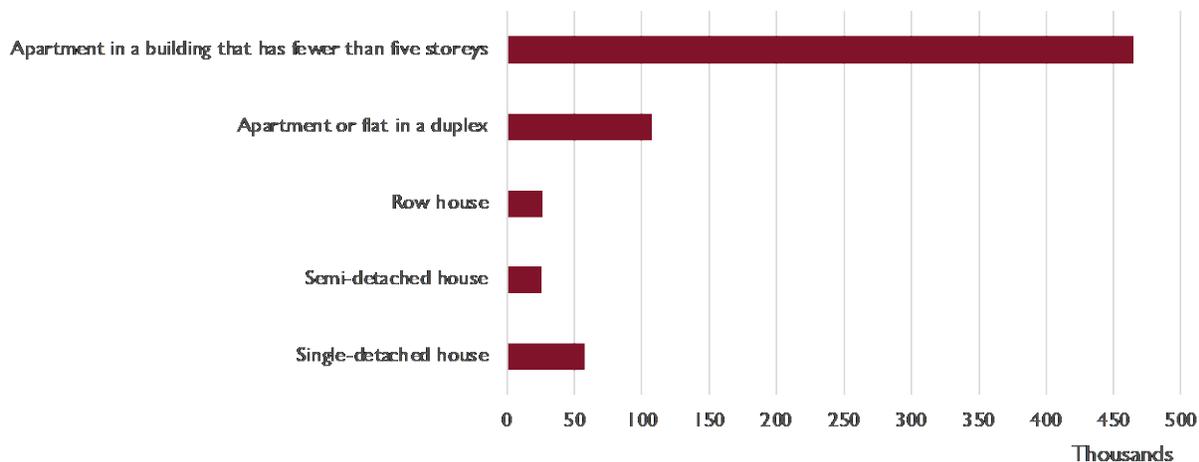


Figure 14 Statistiques sur la typologie des bâtiments dans la ville de Montréal (Profile Table, Census Profile, 2021 Census of Population - Montréal, Ville (V) [Census Subdivision], Quebec, n.d.)

Pour approfondir l'analyse, nous avons utilisé le jeu de données SHEU (*Energy Use in Canada: Publications | Natural Resources Canada*, n.d.) afin de déterminer la superficie moyenne des différents types de bâtiments au Québec. Le jeu de données offre une segmentation précise des espaces résidentiels, détaillant le nombre de logements, leurs aires chauffées, et les mesures de superficie moyenne. Par exemple, il est noté que les maisons isolées présentent la plus grande superficie, avec une aire chauffée significativement plus importante que celle des appartements en haute élévation. De plus, en prenant en compte l'empreinte élargie des logements avec garage, les données indiquent une augmentation proportionnelle de la superficie. Ces données détaillées sont essentielles pour comprendre l'utilisation de l'espace à travers les différents types d'habitation et serviront de métrique essentielle pour vérifier les hypothèses du modèle dans le regroupement des archétypes de bâtiments.

Tableau 1 Données statistiques de l'ensemble des données de l'EUÉM (*Energy Use in Canada: Publications | Natural Resources Canada*, n.d.)

Type de logement	Nombre au Québec	Surface totale de Zone chauffée (mc)	Surface chauffée moyenne (mc)	Avec garage (x1.3) (mc)
Maison individuelle	1,718,175	385,474,173	224.4	291.7
Maison double/en rangée	566,899	96,594,849	170.4	221.5
Appartement de faible hauteur	910,407	95,312,521	104.7	136.1
Appartement en hauteur	230,621	23,893,323	103.6	134.7

Les critères d'extraction de l'ensemble de données des maisons unifamiliales ont utilisé les informations relatives à la superficie moyenne selon le jeu de données SHEU ainsi que les données

de Statistique Canada. Le critère est le suivant : initialement, le filtrage se concentre sur les données résidentielles, excluant les structures de plus de huit étages. Par la suite, la superficie totale est prise en compte, éliminant les propriétés de plus de 291 mètres carrés. Les bâtiments restants sont alors classifiés selon leur type d'attache, ne retenant que les maisons 'détachées' ou 'semi-attachées'. Finalement, seules les habitations répondant à la sous-catégorie 'Régulier' sont conservées pour constituer l'ensemble de données ciblé sur les maisons unifamiliales.

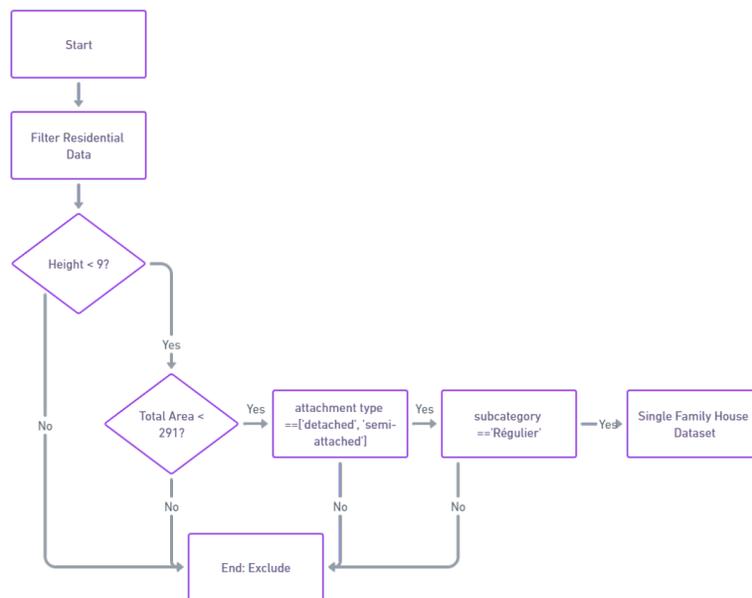


Figure 15 organigramme pour l'extraction des données relatives aux maisons individuelles

5.2. Maisons en rangée

Le premier critère appliqué vérifie l'attribut "hauteur" ; si un bâtiment a moins de 12 mètres, il passe au filtre suivant. Le critère suivant évalue la "surface ajustée" ; les entrées dont la valeur est inférieure ou égale à 221.5 sont soumises à la condition suivante. À ce stade, le processus vérifie si la "catégorie" correspond à "maison individuelle", caractéristique des maisons de ville. La dernière étape de sélection permet de s'assurer que l'attribut "CIVIC_DE" correspond à "CIVIC_FI", ce qui indique une gamme de numéros de voirie correspondant à des maisons de ville.

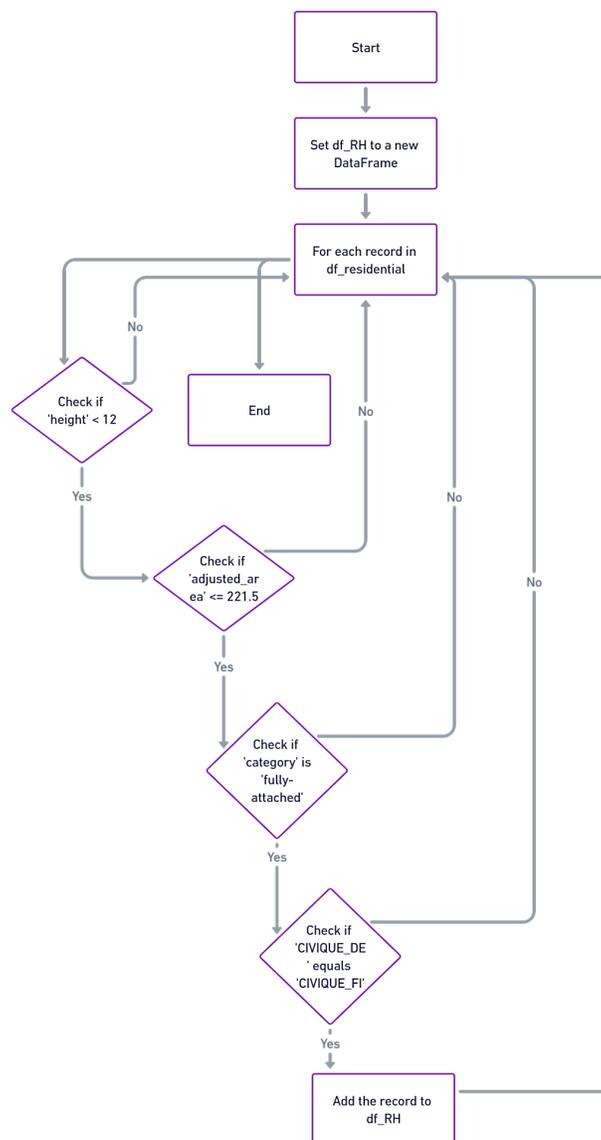


Figure 16 organigramme pour l'extraction des données relatives aux maisons en rangée

5.3. Multi logement partie 9 du code

Le premier filtre appliqué vérifie si la "hauteur" du bâtiment est supérieure à 6 mètres, auquel cas l'enregistrement n'est pas conservé. Si le bâtiment est inférieur ou égal à 6 étages, le processus se poursuit et vérifie si la "hauteur" est inférieure à 15 mètres. Si c'est le cas, il évalue ensuite si la "surface ajustée" est supérieure à 291 mètres carrés. Si un enregistrement répond à ce critère, le processus vérifie ensuite si la "surface corrigée" est inférieure ou égale à 1858 mètres carrés. Enfin, il vérifie si le champ "CIVIQUE_DE" correspond à "CIVIQUE_FI".

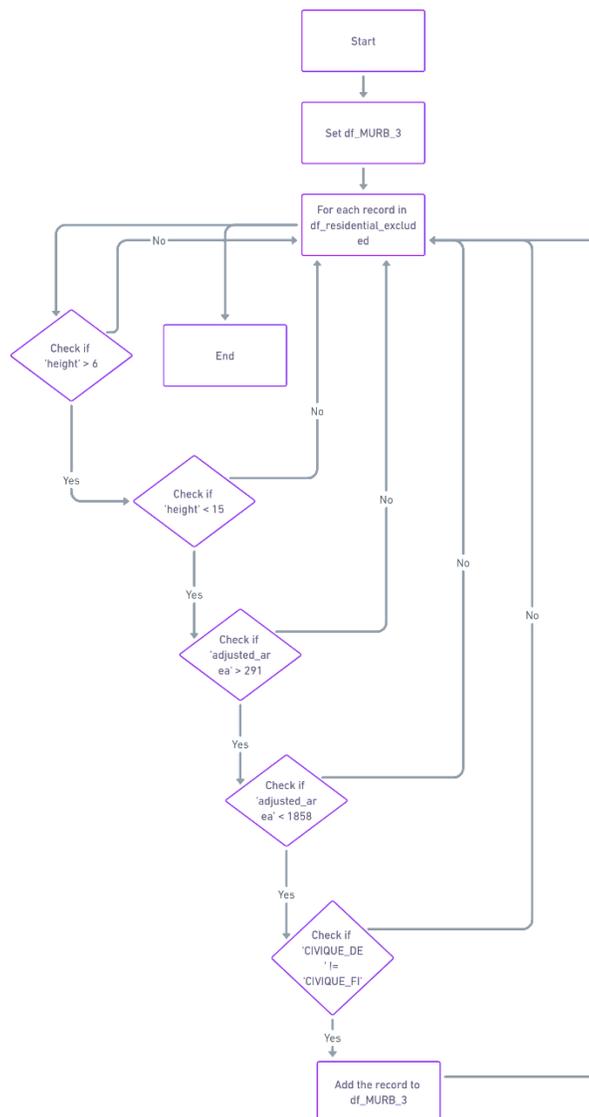


Figure 17 organigramme pour l'extraction des données relatives aux multi-logement partie 9 du code

5.4. Multi logement partie 3 du code

Tout d'abord, un filtre temporel isole les structures par année de construction, en excluant celles qui sont antérieures à 1946. Les bâtiments suivants sont segmentés par année de construction, en distinguant ceux construits entre 1946 et 2010 de ceux construits après 2010. La hauteur des bâtiments est le critère discriminant suivant, avec un seuil de 17 mètres pour les bâtiments anciens et une vérification en deux temps, 15 puis 30 mètres, pour les bâtiments plus récents. La surface corrigée est également analysée, exigeant que les bâtiments aient une surface minimale de 816 mètres carrés et ne dépassent pas 1858 mètres carrés. Enfin, la conformité de la numérotation civique est vérifiée ("CIVIQUE_DE" égale "CIVIQUE_FI"), assurant la cohérence de l'adressage. Les bâtiments qui répondent à ces critères spécifiques sont les suivants

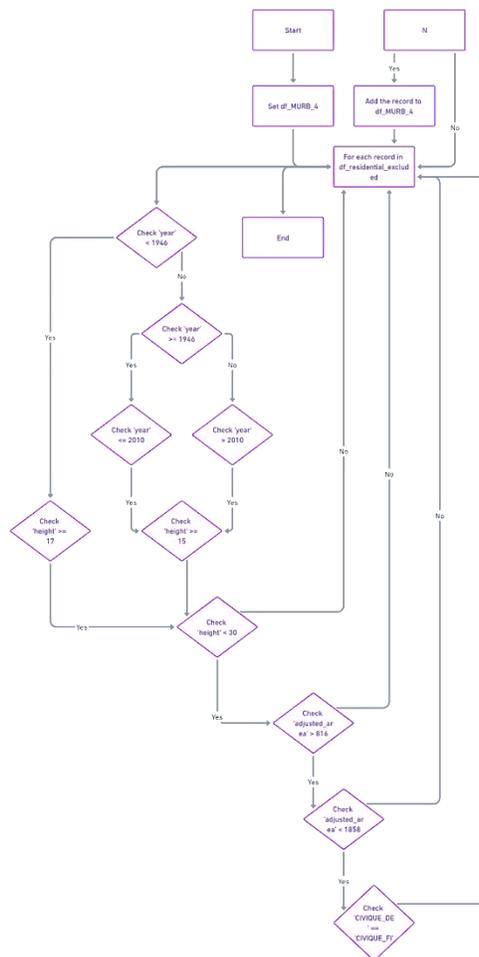


Figure 18 organigramme pour l'extraction des données relatives aux multi-logement partie 3 du code

6. Méthodologie de regroupement géométrique (clustering)

Le processus de classification a été conçu avec rigueur en utilisant trois paramètres principaux : le rapport Surface / Volume (SA/V), le rapport d'Aspect, et l'année de construction, applicables à divers types de bâtiments. La sélection de ces paramètres repose sur leur corrélation avérée avec l'efficacité énergétique et la consommation d'énergie à travers le spectre des archétypes de bâtiments. Le rapport SA/V est un déterminant essentiel dans l'évaluation de la performance de l'enveloppe thermique, avec des ratios élevés suggérant une tendance à une perte de chaleur accrue, influençant directement l'efficacité énergétique d'une structure. Le rapport d'Aspect a un impact sur le potentiel de chauffage solaire passif ainsi que sur le taux de dissipation thermique, le rendant ainsi un facteur clé dans le profil énergétique du bâtiment. L'année de construction fournit un contexte concernant les normes de construction et les réglementations énergétiques propres à chaque époque, qui dictent les niveaux intrinsèques d'efficacité énergétique des bâtiments. L'intégration de ces paramètres permet l'élaboration d'un algorithme de classification sophistiqué qui peut catégoriser efficacement les bâtiments sur la base de leurs modèles de consommation d'énergie, conduisant à des stratégies de conservation d'énergie plus informées et ciblées.

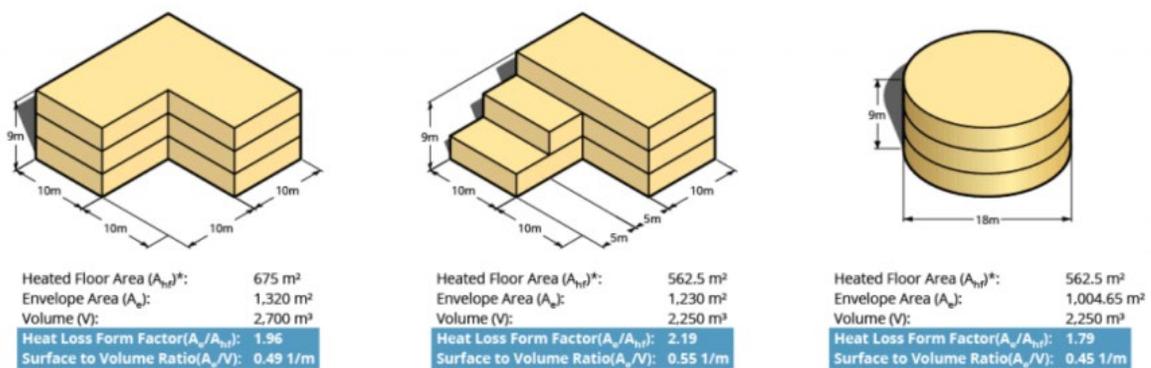


Figure 19 la nécessité d'utiliser le rapport surface/volume et le rapport d'aspect

La méthodologie initiale traitait les données de manière agnostique, s'appuyant sur la nature même des données pour influencer le processus de regroupement. Par exemple, l'abondance des maisons unifamiliales construites dans les années 1950 par rapport aux maisons en rangée plus fréquentes dans les années 1990 a influencé la distribution des centroïdes. Par conséquent, les centroïdes avaient tendance à se conformer aux périodes de densité de données plus élevée, s'écartant de toute catégorisation présupposée. Ce phénomène soulignait la capacité d'adaptation de la méthodologie à la composition unique de l'ensemble des données, garantissant que les archétypes résultants reflétaient précisément les tendances de construction temporelles inhérentes à chaque catégorie de bâtiment.

La stratégie et la méthodologie initiales pour regrouper les bâtiments en archétypes, telles qu'illustrées dans le diagramme ci-joint, impliquaient un processus systématique. L'ensemble de

données a d'abord été segmenté par type d'adjacence, suivi de la conception d'un processus de clustering. Le nombre optimal de clusters a été déterminé en utilisant la méthode du Coude (k). Le clustering a ensuite été réalisé à l'aide des méthodes k-means , guidé par la valeur de k.

Cette approche suggérait initialement la création d'environ 16 archétypes par catégorie de bâtiment. Cependant, après discussion avec nos partenaires Dunsky et l'ETS, il a été conseillé que le grand nombre d'archétypes serait peu pratique à gérer dans l'interface utilisateur de l'outil HEAT. Par conséquent, la méthodologie adoptée a été affinée pour prioriser la période de construction, en extrayant les centroïdes correspondant à chaque période. Cela a abouti à un résultat plus gérable et convivial d'un maximum de quatre archétypes par catégorie de bâtiment, garantissant que les archétypes étaient à la fois représentatifs et applicables au sein de l'interface de l'outil HEAT.

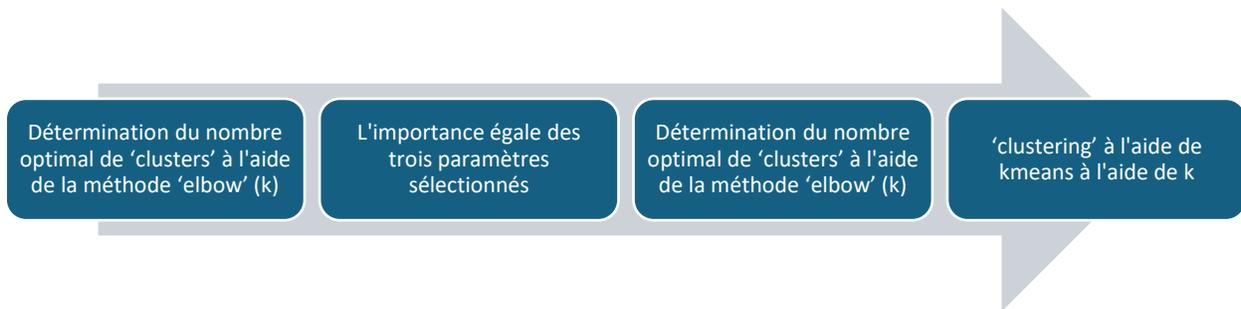


Figure 20 flux de travail générique pour le processus de regroupement

7. Résultats du processus de regroupement

La section suivante expose les résultats de la méthode de clustering employée pour garantir la présence d'un centroïde pour chaque archétype au sein de la période de construction concernée. Pour chaque catégorie, un graphique en 3D est présenté afin d'illustrer la répartition des archétypes en fonction des trois paramètres utilisés ainsi que le centroïde correspondant à chacun d'eux. De plus, les centroïdes des archétypes sont matérialisés dans la réalité, extraits de Google Earth, fournissant ainsi une visualisation concrète de leur localisation géographique.

7.1. Commerciaux attachés

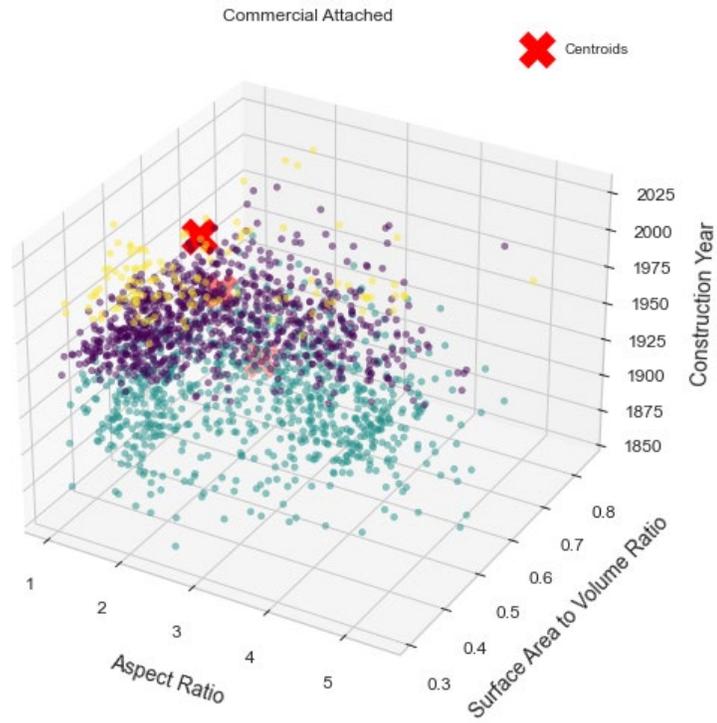


Figure 21 : Image clustering et obtention centroïdes commerciaux



pre-1946
201 Rue Rachel E



1947-1983
8757 Rue Hochelaga



after 1983
416 Rue Jean-Talon O

Figure 22 : Images des centroïdes trouvés commerciale

7.2. Commerciaux détachés

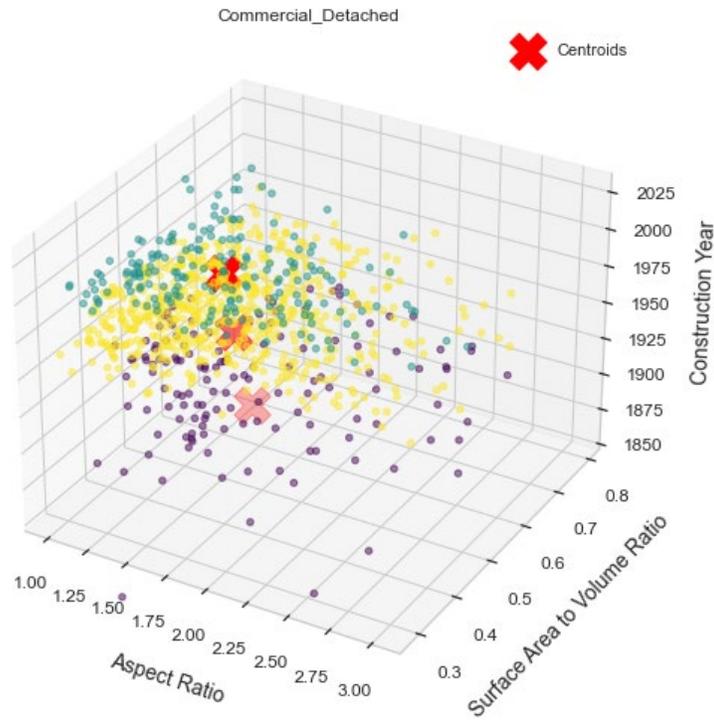


Figure 23 : Image clustering et obtention centroïdes commerciaux détachés



pre-1946
170 Rue Jarry E



1947-1983
6023 Boulevard Henri-Bourassa E



after 1983
6971 De la Côte-de-Liesse Rd

Figure 24 : Images des centroïdes trouvés commerciale détachée

7.3. Bureaux

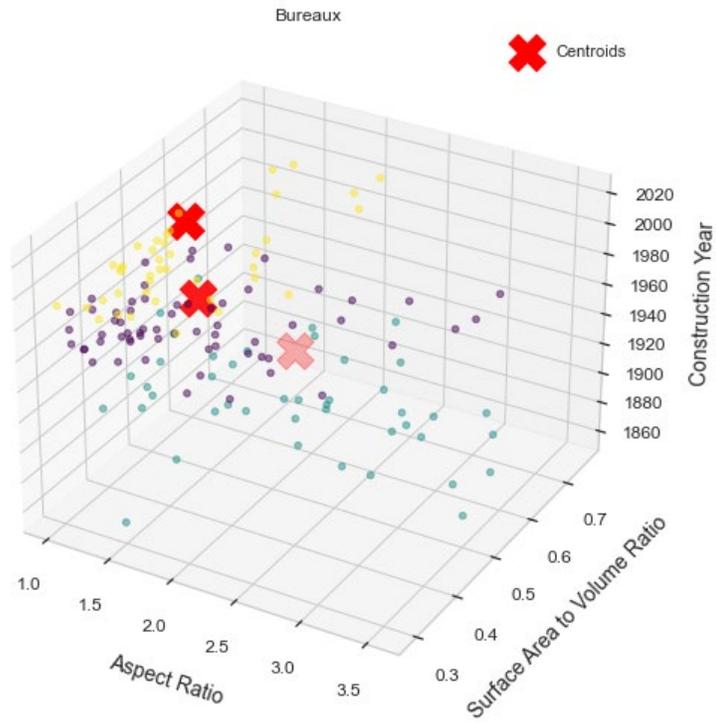


Figure 25 : Image clustering et obtention centroïdes bureaux



Figure 26 : Images des centroïdes trouvés bureaux

7.4. Maison unifamiliale

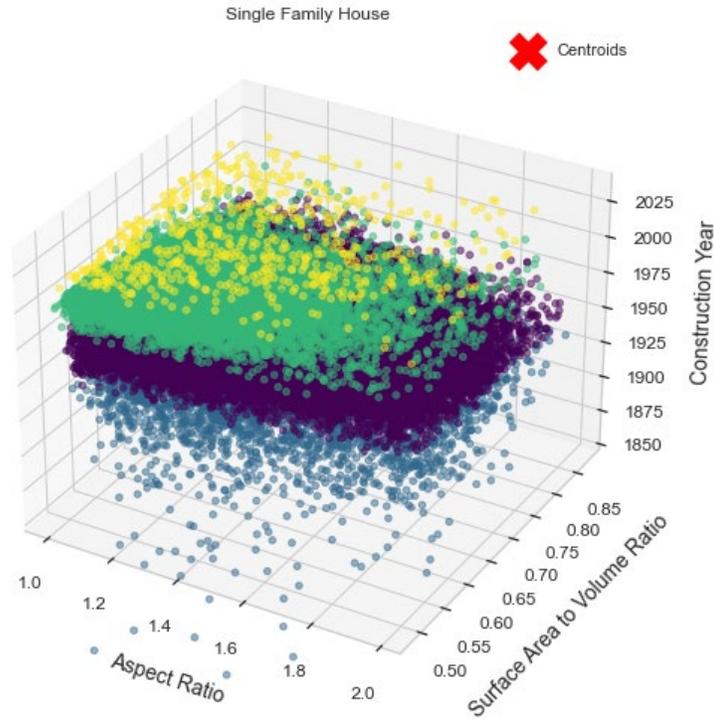


Figure 27 : Image clustering et obtention centroïdes maison unifamiliale



Pre 1946
1463 Athlone Rd



1946 - 1983
217_rue Ernest



1984 - 2010
15 Rue Lafford



Après 2010
1410 Rue Barré

Figure 28 : Images des centroïdes trouvés unifamilial

7.5. Maison en rangée

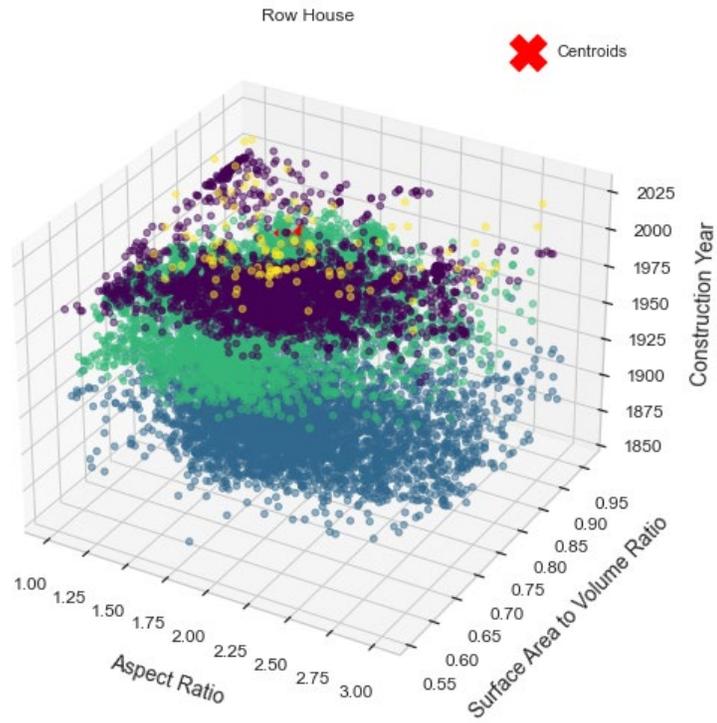


Figure 29 : Image clustering et obtention centroïdes maison unifamiliale en rangée



Pre 1946
3440 Marcell Ave



1946 – 1983
253 Rue Wilson



1984 – 2010
74 Rue Terry Fox



Après 2010
197 Beaurepaire Dr

Figure 30 : Images des centroïdes trouvés unifamilial en rangée

7.6. Multi-logement Partie 9 du code

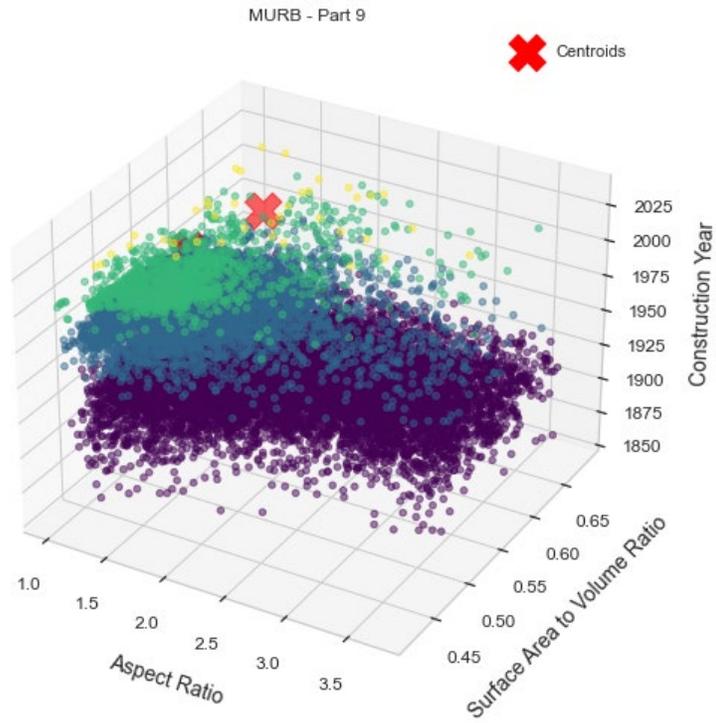


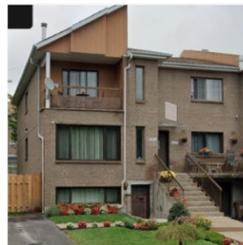
Figure 31 : Image clustering et obtention centroïdes Multi logement partie 9



Pre 1946
7283 Saint Denis St



1946 – 1983
12185 Av. Lamoureux



1984 – 2010
4909 Rue des Cagneux



Après 2010
5875 Av. des Ormeaux

Figure 32 : Images des centroïdes trouvés multi logement partie 9

7.7. Multi-logement Partie 3 du Code

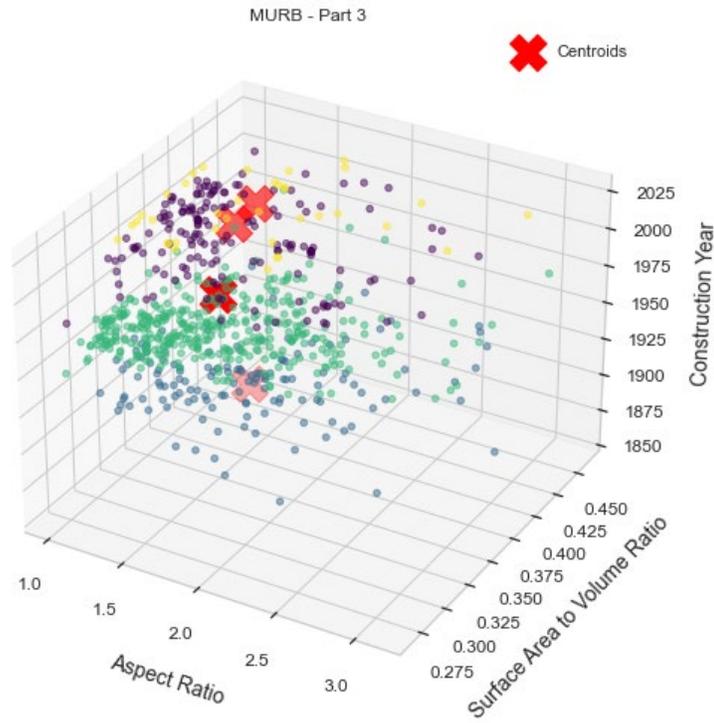


Figure 33 : Image clustering et obtention centroïdes Multi logement partie 3



Pre 1946
48 Av. Joyce



1946 - 1983
1790 Boulevard Henri-Bourassa E



1984 - 2010
16231 Rue Forsyth



Après 2010
2000 Rue Falardeau

Figure 34 : Images des centroïdes trouvés multi logement partie

Tableau 2 Informations détaillées sur les centroïdes de chaque archétype

Type	Window Area (m2)	Year of Construction	Window Area (m2)	Total Floor Area – (modelled) (m2)
Commercial Attachee	Pre 1946	1885	261	663
	1948-1983	1964	91	297
	Post-1983	1995	147	408
Commercial Dettachee	Pre 1946	1944	494	1481
	1948-1983	1968	125	288
	Post-1983	1985	237	1032
Bureaux	Pre 1946	1889	311	404
	1948-1983	1955	457	1251
	Post-1983	1994	280	734
Maison unifamille	Pre 1946	1920	54	187
	1948-1983	1980	41	215
	1983-2010	1985	79	401
	Post-2010	2014	59	220
Maison en rangee	Pre 1946	1924	15	236
	1948-1983	1967	14	153
	1983-2010	1988	12	140
	Post-2010	2011	24	141
Multi-logement partie 9	Pre 1946	1923	184	496
	1948-1983	1965	120	397
	1983-2010	2006	111	341
	Post-2010	2014	90	212
Multi-logement partie 3	Pre 1946	1943	205	1247
	1948-1983	1954	304	1367
	1983-2010	1994	374	1658
	Post-2010	2014	278	908

8. Données constructives

8.1. Données de base

Cette recherche a utilisé une stratégie multi-sources pour acquérir des données de construction et de résistance thermique (valeurs R) pour divers archétypes de bâtiments à Montréal. Les sources de données primaires sont les suivantes :

- EnerGuide: Cette ressource permet d'accéder aux données mesurées lors des audits énergétiques d'Energuides (<https://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/energuides/12523>), offrant ainsi un aperçu précieux de la performance réelle des unités résidentielles.
- Outil de Concordia, TOOLS4Cities hub, partagé en modèle ouvert (open-source) avec la communauté académique globale (<https://nextgenerations-cities.encs.concordia.ca/gitea/CERC/hub>)
- HTAP NRCan-IETS-CE-O-HBC/HTAP: NRCan's Ruby scripts for batch analysis and optimization with HOT2000 (github.com)

Lors de l'évaluation des sources de données, l'ordre de priorité suivant a été appliqué :

- Données mesurées et ensembles de données de vérification (p. ex., ÉnerGuide) : Les données de performance réelles obtenues par le biais d'audits énergétiques ont été priorisées car elles reflètent les caractéristiques réelles du parc immobilier de Montréal.
- Analyse documentaire : Les informations glanées dans la littérature académique et les rapports de l'industrie ont fourni un contexte précieux et des connaissances de base.
- Code du bâtiment pour la zone ciblée et l'époque/le millésime (le cas échéant) : Les codes du bâtiment et les règlements évoluent au fil du temps, de sorte que l'époque d'une étude particulière a été prise en compte pour assurer l'applicabilité des données aux archétypes de bâtiments ciblés.
- Valeurs des archétypes HUB/NECB - HTAP

En employant cette approche multi-sources avec une priorisation claire, la recherche a pu rassembler des données sur les matériaux de construction et les propriétés thermiques pour générer des archétypes de bâtiments montréalais.

8.2. Prétraitement et extraction des données

EnerGuide dataset

The EnerGuide dataset multiple steps to extract required information for developing the building archetypes. Here's a breakdown of the steps involved:

- Filtrage par ville, millésime et type de bâtiment : Les colonnes CLIENTCITY, YEARBUILT et TYPEOFHOUSE ont été utilisées comme filtres. Cela a permis de s'assurer que les données n'incluaient que les bâtiments situés à Montréal (CLIENTCITY), construits dans des millésimes spécifiques (YEARBUILT) et catégorisés par leur typologie de bâtiment (TYPEOFHOUSE).
- Segmentation par typologie au sein du millésime : Chaque groupe de millésimes a ensuite été subdivisé en fonction de la typologie du bâtiment (TYPE DE MAISON). Il en résulte des ensembles de données contenant des informations spécifiques à chaque archétype de bâtiment au sein d'une époque de construction particulière. Les correspondances suivantes entre la typologie de l'unité résidentielle et les valeurs de la colonne TYPE DE MAISON des données sont les suivantes :
 - o **Single Family:** 'Single detached' - 'Single Detached',
 - o **Single Family (Row):** 'Row house, middle unit' - 'Row house, end unit'
 - o **Apartment, Duplex Triplex:** 'Detached Duplex' - 'Attached Duplex' - 'Detached Triplex' - 'Attached Triplex' - 'Apartment' - 'Apartment Row'.
- Stratification par millésime : Les données filtrées de Montréal ont été divisées en millésimes distincts sur la base des tranches d'années déterminées, créant ainsi des groupes de bâtiments représentant différentes époques de construction.
 - o Pre 1946
 - o 1946-1983
 - o 1983-2010
 - o Post 2010
- Analyse et calcul de la moyenne des valeurs R : Enfin, pour chaque catégorie (ville-vintage-typologie), les points de données pour les valeurs R des murs, des sols et des plafonds ont été extraits. Après avoir supprimé les valeurs nulles (considérées comme aberrantes), la valeur R moyenne a été calculée pour chaque élément (mur, sol et plafond) dans chaque catégorie.

Ce processus a facilité l'extraction des caractéristiques pertinentes de l'enveloppe du bâtiment (valeurs R des murs, des planchers et des plafonds) pour divers archétypes de bâtiments montréalais à différentes époques de construction.

Autres sources supplémentaires

L'examen des documents historiques, de la littérature académique et des rapports de l'industrie a permis d'obtenir des informations précieuses sur les pratiques et les typologies de construction du passé. Cependant, bien que ces références aient fourni des informations intéressantes sur des types de bâtiments et des époques similaires, l'extraction de données précises sur les couches de construction s'est avérée difficile. En particulier, des limitations ont été rencontrées dans les domaines suivants

- L'identification précise de l'emplacement : De nombreuses références manquaient de détails précis sur l'emplacement du bâtiment, ce qui rendait difficile l'identification d'éléments de construction spécifiques.
- Analyse incomplète du bâtiment : Certaines références offraient une vue d'ensemble plus générale des types de bâtiments.

Malgré ces limites, l'ensemble des références est inclus dans le rapport pour une exploration plus approfondie. Ces ressources peuvent fournir des informations et des conseils précieux en cas de besoin ou d'application.

- Pre-World War II houses
Pre-World War II houses : NH18-31/1-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
Post-War 1 1/2-storey homes
Post-War 1 1/2-storey homes : NH18-31/2-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
- Post-60s two-storey homes
Post-60s two-storey homes : NH18-31/3-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
1960s or 70s one-storey homes
1960s or 70s one-storey homes : NH18-31/4-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
- Renovating distinctive homes : 1-1/2 storey post-war homes.
<https://publications.gc.ca/site/eng/9.830702/publication.html>
- Duplexes and triplexes
<https://publications.gc.ca/site/eng/9.564306/publication.html>
- Row houses
<https://publications.gc.ca/site/eng/9.564307/publication.html>
- Split entry homes
<https://publications.gc.ca/site/eng/9.564304/publication.html>

- Split-level homes
<https://publications.gc.ca/site/eng/9.564303/publication.html>
- Canadian wood-frame house construction
<https://publications.gc.ca/site/eng/9.859612/publication.html>
- CAGBC Decarbonizing Canada's Large Buildings: A Path Forward (cagbc.org)
. Decarbonizing Canada's Large Buildings: A Path Forward (cagbc.org)
- Association of Construction and Housing Professionals of Quebec (APCHQ): Wall Sections.
<https://www.apchq.com/download/ac31bdc975ed5de89ad2146eb344a2042bf53a2d.pdf>
- International Energy Conservation Code (IECC):
<https://codes.iccsafe.org/content/IECC2021P1>
- Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS)
<https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2018/guide.php>

HUB

Développé par l'équipe du CERC de l'Université Concordia, le Hub est un outil rationalisé conçu pour simplifier la complexité associée à la gestion de multiples normes de référence pour les bâtiments commerciaux à travers différents millésimes.

Cela inclut les références aux normes de construction canadiennes telles que BTAP Pre-1980, BTAP 1980-2010, NECB 2011, NECB 2015, et les normes NECB ultérieures.

Les normes originales intégrées dans le Hub sont facilement accessibles sur le dépôt GitHub OpenStudio-standards qui peut être trouvé ici : <https://github.com/NREL/openstudio-standards>.

La consolidation de ces références dans un emplacement central rationalise le processus d'extraction et d'application des couches de construction pertinentes et des spécifications des différentes normes de construction. Cette approche permet des références croisées efficaces et l'utilisation des archétypes de NRCAN, qui peuvent être consultés ici.

https://nextgenerations-cities.encs.concordia.ca/gitea/CERC/hub/src/branch/main/hub/data/construction/nrcan_archetype.s.json

Alors que les détails des matériaux de construction se trouvent ici https://nextGenerations-cities.encs.concordia.ca/gitea/CERC/hub/src/branch/main/hub/data/construction/nrcan_constructions.json. Enfin, le lien suivant montre le mappage des matériaux utilisé dans le HUB sous forme de fichier XML.

https://nextgenerations-cities.encs.concordia.ca/gitea/CERC/nrcan_catalog_creator/src/branch/main/data/nrcan.xml

HTAP

HTAP fait référence à la plate-forme d'évaluation des technologies résidentielles développée par Ressources naturelles Canada pour soutenir la recherche et le développement de programmes dans le domaine de la simulation énergétique résidentielle.

Dans certains cas, la HTAP a été utilisée pour compenser l'absence d'éléments de données dans les ensembles de données sur le millésime résidentiel.

- Le cadre d'attribution des spécifications des matériaux en fonction du millésime se trouve dans le répertoire de HTAP/inc/rulesets.rb.
- Les spécifications détaillées des matériaux sont accessibles via HTAP/HTAP-options.json, offrant des conseils complets sur l'utilisation des matériaux et les normes.

8.3. Maison Unifamiliale

Tableau 3 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

	MURS (RSI) (M ² ·K/W)	PLAFOND S (RSI) (M ² ·K/W)	PLANCH ERS (RSI) (M ² ·K/W)	FENÊTRES (U-VALUE) (W/M ² K)	SHGC	M3/S M2	PER	WWR (%)*
PRE 1946	1.70 ¹	2.24 ¹	2.98 ¹	3.85 ²	0.65 ²	579 * 10 ⁻⁴ ¹		20 ¹
1946 – 1983	1.90 ¹	2.59 ¹	3.76 ¹	3.33 ²	0.65 ²	455 * 10 ⁻⁴ ¹		20 ¹
1984 – 2010	2.80 ¹	4.15 ¹	5.06 ¹	2.73 ²	0.59 ²	314 * 10 ⁻⁴ ¹		20 ¹
POST 2010	4.31 ³	7.22 ³	5.20 ³	2.00 ³	0.35 ²	2 * 10 ⁻⁴ ¹		20 ¹

¹ EnergyGuide

² HTAP

³ Quebec Construction Code

* Due to limitations within the EnerGuide dataset, the window-to-wall ratio (WWR) was extracted from a small subset of data points. These data may not precisely correspond to the established building categories.

Couches de construction suggérées

Tableau 4 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

	Wall	Ceiling/Roof	Floor
Pre 1946	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. ¹	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1946 – 1983	Wood frame stud walls with batt insulation ²	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1984 – 2010	Wood frame stud walls with batt insulation ²	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
Post 2010	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation ³	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴

¹ Pre-World War II houses - Government of Canada Publications

² Post- War home - Government of Canada Publications

³ APCHQ

⁴ IECC

Analyse des données ÉnerGuide

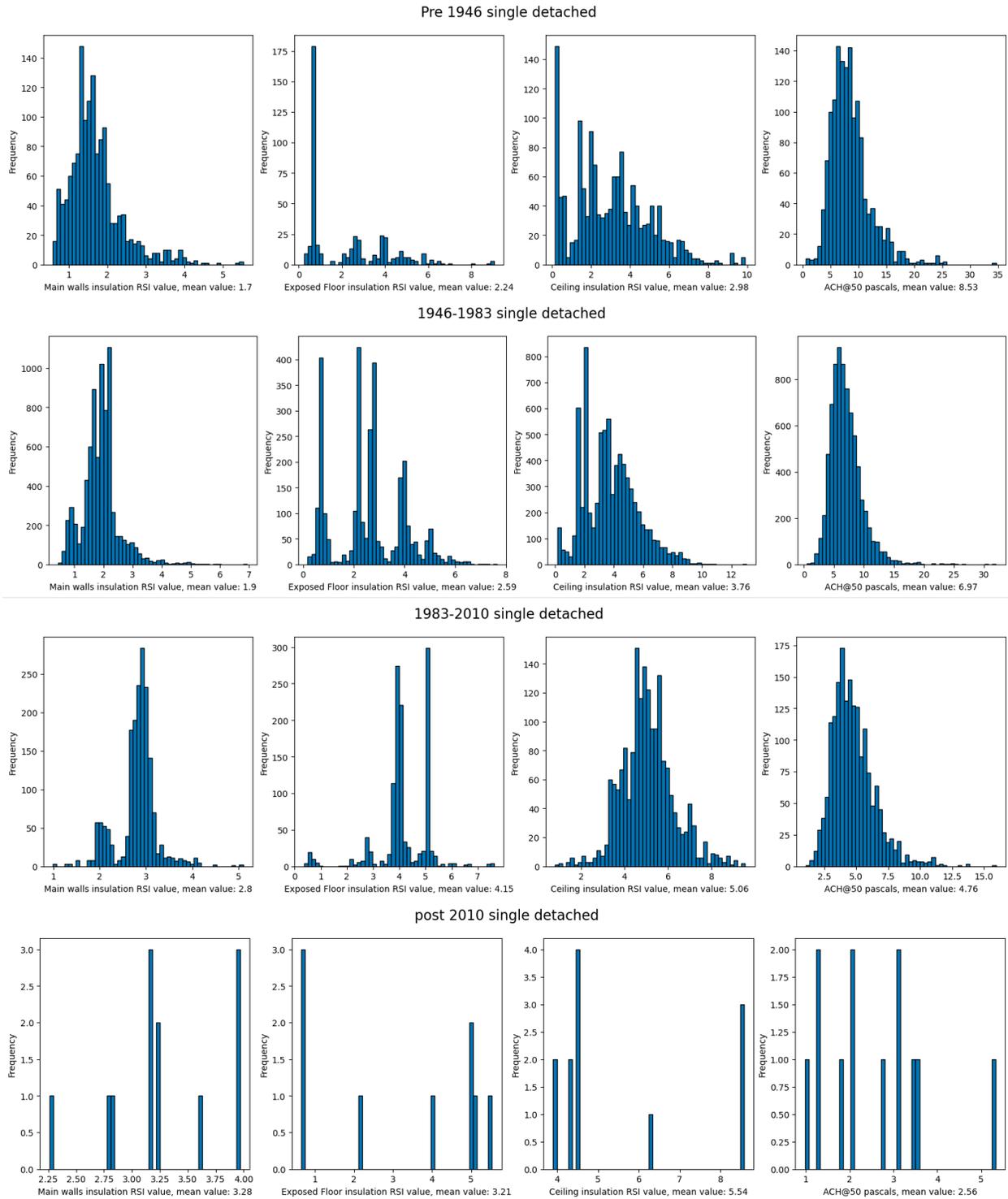


Figure 35 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuide

8.4. Maison en rangée

Tableau 5 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

	MURS (RSI) (M²·K/W)	PLAFON DS (RSI) (M²·K/W)	PLANCHE RS (RSI) (M²·K/W)	FENÊTRES (U-VALUE) (W/M²K)	SHGC	M3/S M2	PER WWR (%)*
PRE 1946	1.82 ¹	2.32 ¹	2.23 ¹	3.85 ²	0.65 ²	107 * 10 ⁻³ ¹	15 ¹
1947 – 1983	1.90 ¹	2.66 ¹	3.36 ¹	3.33 ²	0.65 ²	672 * 10 ⁻⁴ ¹	15 ¹
1984 – 2010	2.18 ¹	3.43 ¹	3.50 ¹	2.73 ²	0.59 ²	306 * 10 ⁻⁴ ¹	15 ¹
POST 2011	4.31 ³	7.22 ³	5.20 ³	2.00 ³	0.35 ²	147 * 10 ⁻⁴ ¹	15 ¹

¹ EnergyGuide

² HTAP

³ Quebec Construction Code

* Due to limitations within the EnerGuide dataset, the window-to-wall ratio (WWR) was extracted from a small subset of data points. These data may not precisely correspond to the established building categories.

Couches de construction suggérées

Tableau 6 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

	Wall	Ceiling/Roof	Floor
Pre 1946	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. ¹	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1946 – 1983	Wood frame stud walls with batt insulation ²	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1984 – 2010	Wood frame stud walls with batt insulation ²	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
Post 2010	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation ³	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴

¹ Pre-World War II houses - Government of Canada Publications

² Post- War home - Government of Canada Publications

³ APCHQ

⁴ IECC

Analyse des données ÉnerGuide

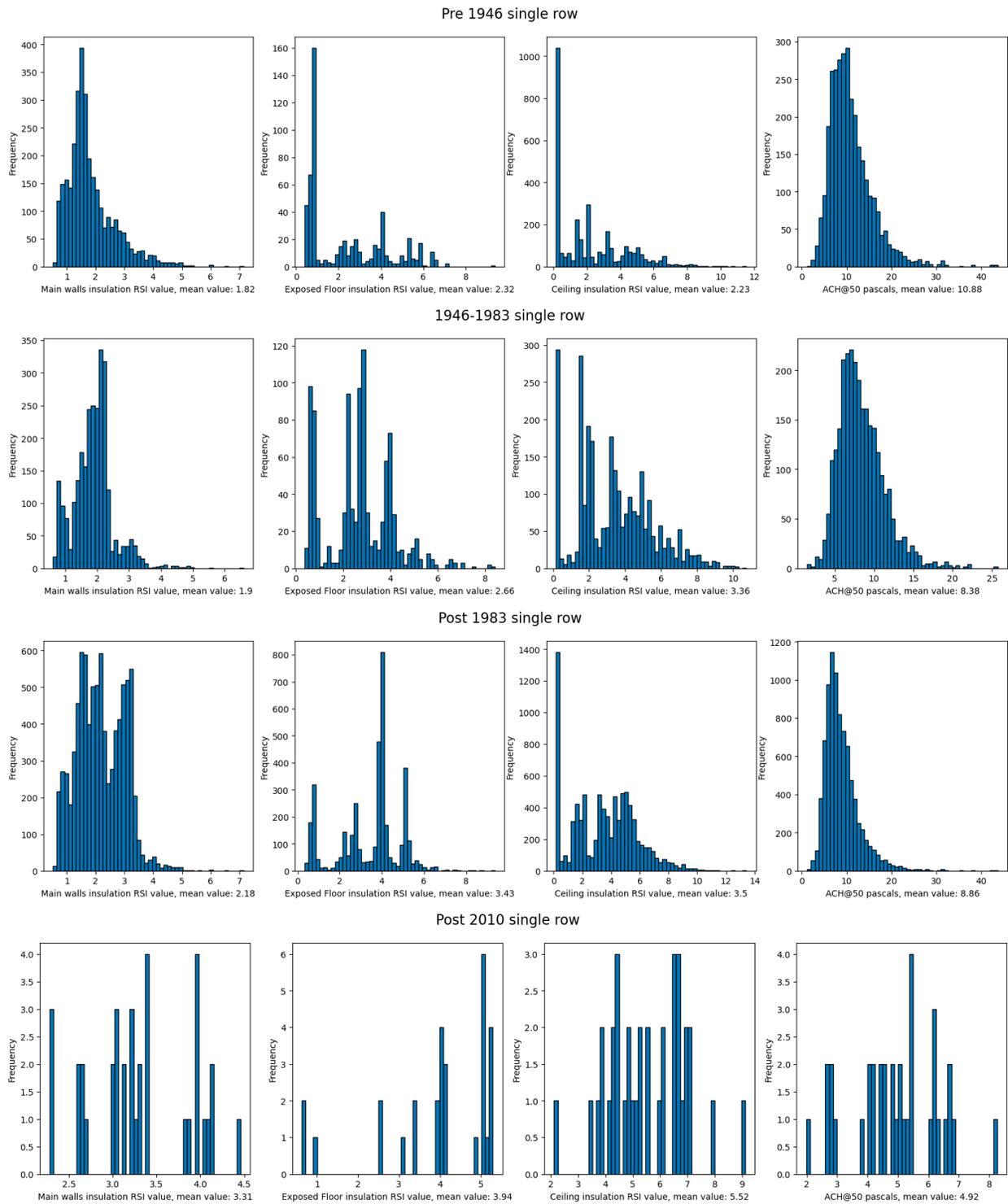


Figure 36 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuide

8.5. Multi-logement partie 9 du code

Tableau 7 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

	MURS (RSI) (M²·K/W)	PLAFOND S (RSI) (M²·K/W)	PLANCHE RS (RSI) (M²·K/W)	FENÊTRES (U-VALUE) (W/M²K)	SHGC	ACH@50 PA	WWR (%)*
PRE 1946	1.82 ¹	1.18 ¹	2.05 ¹	3.85 ²	0.65 ²	502 * 10 ⁻⁴ *	30%*
1946 – 1983	1.81 ¹	1.30 ¹	1.82 ¹	3.33 ²	0.65 ²	275 * 10 ⁻⁴ *	30%*
1983 – 2010	2.93 ¹	3.99 ¹	3.84 ¹	2.63 ²	0.59 ²	125 * 10 ⁻⁴ *	30%*
POST 2010	4.31 ³	7.22 ³	5.20 ³	2.00 ³	0.35 ²	61 * 10 ⁻⁵ *	30%*

¹ EnergyGuide

² HUB

* Estimated value

Couches de construction suggérées

Tableau 8 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

	Wall	Ceiling/Roof	Floor
Pre 1946	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. ¹	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1946 – 1983	Wood frame stud walls with batt insulation ²	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1984 – 2010	Wood frame stud walls with batt insulation ²	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
Post 2010	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation ³	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴

¹ Pre-World War II houses - Government of Canada Publications

² Post- War home - Government of Canada Publications

³ APCHQ

⁴ IECC

Analyse des données ÉnerGuide

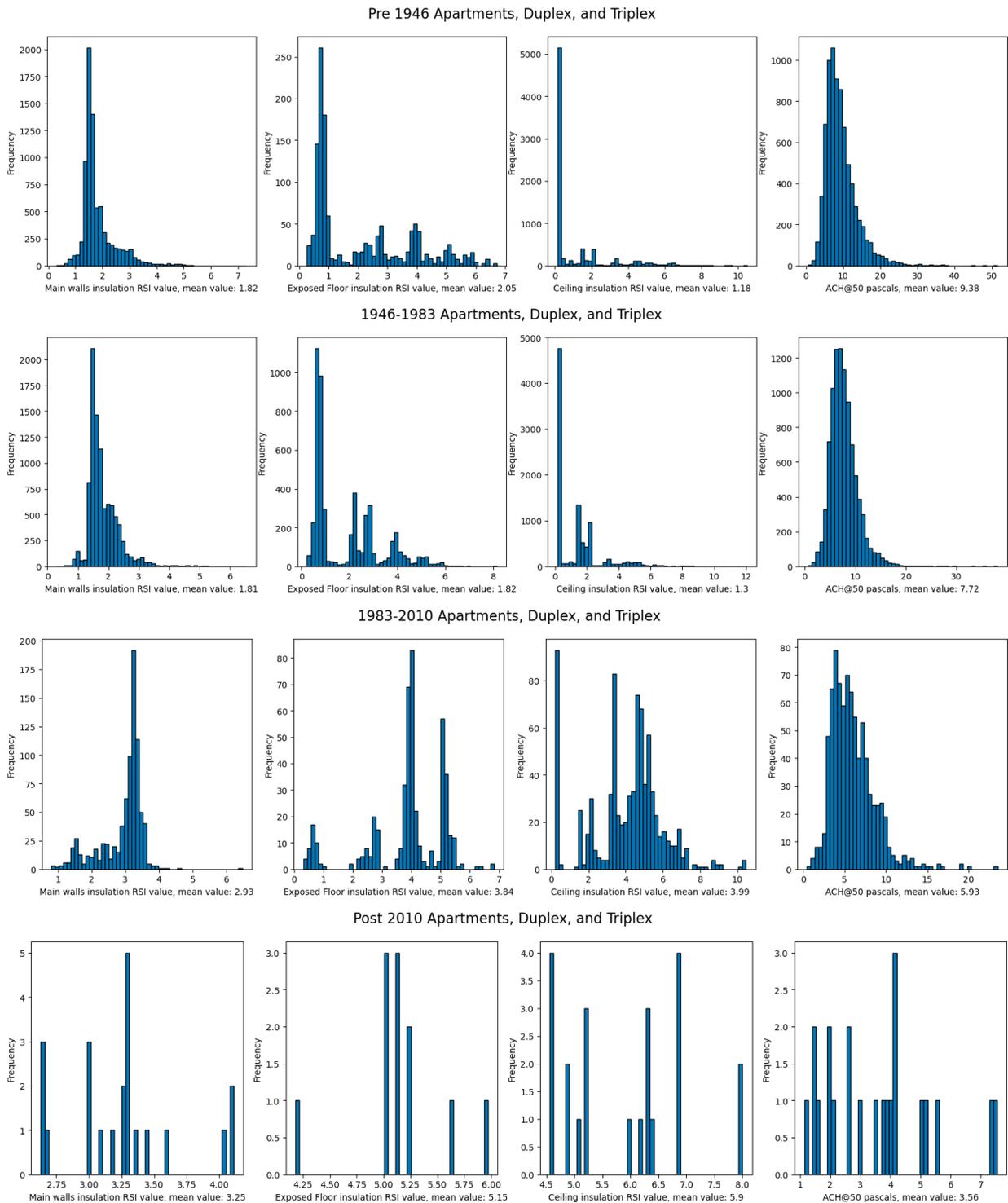


Figure 37 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuide

8.6. Multi-logement partie 3 du code

Tableau 9 Construction partie 3 du code valeurs

	MURS (RSI) (M²·K/W)	PLAFON DS (RSI) (M²·K/W)	PLANCHE RS (RSI) (M²·K/W)	FENÊTRES (U-VALUE) (W/M²K)	SHGC	ACH@50 PA	WWR (%)*
PRE 1946	1.498 ¹	0.823 ¹	0.678 ¹	4.20 ¹	0.39 *	502 * 10 ⁻⁴ *	20 *
1946 – 1983	1.498 ¹	0.823 ¹	0.678 ¹	4.20 ¹	0.39 *	275 * 10 ⁻⁴ *	20 ¹
1984 – 2010	0.426 ¹	0.276 ¹	0.459 ¹	4.20 ¹	0.39 *	125 * 10 ⁻⁴ *	30 ¹
POST 2010	0.247 ¹	0.183 ¹	0.183 ¹	2.20 ¹	0.39 *	61 * 10 ⁻⁵ *	30 *

¹ CAGBC

* Estimated value

Couches de construction suggérées

Tableau 10 Construction partie 3 du code matériaux

	Wall	Ceiling/Roof	Floor
Pre 1946	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. ¹	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1946 – 1983	Wood frame stud walls with batt insulation	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
1984 – 2010	Wood frame stud walls with batt insulation	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴
Post 2010	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation	Gypsum board, typical insulation ⁴	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad ⁴

¹ Pre-World War II houses - Government of Canada Publications

² Canadian wood-frame house construction - Government of Canada Publications

³ APCHQ

⁴ IECC

8.7. Bureaux

Tableau 11 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

	MURS (RSI) (M2·K/ W)	PLAFOND S (RSI) (M2·K/W)	PLANCHE RS (RSI) (M2·K/W)	FENÊTRES (U-VALUE) (W/M²K)	SHGC	ACH@50 PA	WWR (%)*
PRE 1946	0.82 ²	0.26 ²	1.31 ²	5.68 ²	0.39 ²	680 * 10 ⁻⁴ ¹	40% *
1946 – 1983	2.11 ³	0.26 ²	1.31 ²	5.68 ³	0.39 ²	288 * 10 ⁻⁴ ¹	40% *
1983 – 2020	2.11 ³	0.26 ²	2.13 ²	3.52 ³	0.39 ²	168 * 10 ⁻⁴ ¹	40% *

¹ EnergyGuide

² HUB

³ CAGBC [Decarbonizing Canada's Large Buildings: A Path Forward \(caqbc.org\)](https://www.caqbc.org)

* Estimated value

Couches de construction suggérées

Tableau 12 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

	Wall	Ceiling/Roof	Floor
Pre 1946	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco ¹	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ¹	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ¹
1946 – 1983	Steel stud wall w/batt insulation ²	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ¹	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ¹
1983 – 2020	Steel stud wall w/batt insulation, ²	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ¹	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ¹

¹ CBECS

² CAGBC

8.8.Commerciaux détachés

Tableau 13 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

	MURS (U- VALUE) (W/M ² K)	PLAFOND S(U- VALUE) (W/M ² K)	PLANCHER S (U-VALUE) (W/M ² K)	FENÊTRE S (U- VALUE) (W/M ² K)	SHGC	ACH@50 PA	WWR (%)*
PRE 1946	0.82 ²	0.26 ²	0.67 ²	2.95 ²	0.39 ²	220 * 10 ⁻³ *	40% *
1946 – 1983	0.62 ²	0.26 ²	0.67 ²	2.95 ²	0.39 ²	221 * 10 ⁻⁴ *	40% *
1983 – 2020	0.33 ²	0.21 ²	0.43 ²	2.34 ²	0.39 ²	254 * 10 ⁻⁴ *	40% *

¹ EnergyGuide

² HUB

* Estimated value

N.B: For building archetypes with overlapping HUB/NECB vintages, final results are calculated by averaging values from both vintages.

Couches de construction suggérées

Tableau 14 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

	Wall	Ceiling/Roof	Floor
Pre 1946	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco ¹	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ²	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ²
1946 – 1983	Steel stud wall w/batt insulation ¹	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ²	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ²
1983 – 2020	Steel stud wall w/batt insulation. ¹	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ²	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ²

8.9.Commerciaux attachés

Tableau 15 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

	MURS (U- VALUE) (W/M ² K)	PLAFOND S(U- VALUE) (W/M ² K)	PLANCHER S (U-VALUE) (W/M ² K)	FENÊTRE S (U- VALUE) (W/M ² K)	SHGC	ACH@50 PA	WWR (%)*
PRE 1946	0.82 ²	0.26 ²	0.67 ²	2.95 ²	0.39 ²	606 * 10 ⁻⁴ ¹	40%*
1946 – 1983	0.62 ²	0.26 ²	0.67 ²	2.95 ²	0.39 ²	125 * 10 ⁻⁴ ¹	40%*
1984 – 2020	0.33 ²	0.21 ²	0.43 ²	2.34 ²	0.39 ²	116 * 10 ⁻⁴ ¹	40%*

¹ EnergyGuide

² HUB

* Estimated values

N.B: For building archetypes with overlapping HUB/NECB vintages, final results are calculated by averaging values from both vintages.

Couches de construction suggérées

Tableau 16 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

	Wall	Ceiling/Roof	Floor
Pre 1946	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco ¹	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ²	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ²
1946 – 1983	Steel stud wall w/batt insulation ¹	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ²	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ²
1983 – 2020	Steel stud wall w/batt insulation. ¹	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface ²	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad ²

https://energyplus-weather.s3.amazonaws.com/north_and_central_america_wmo_region_4/CAN/ON/CAN_ON_Thunder.Bay.717490_CWEC/CAN_ON_Thunder.Bay.717490_CWEC.epw

¹ HUB

² CBECS

* Estimated values

N.B: For building archetypes with overlapping HUB/NECB vintages, final results are calculated by averaging values from both vintages.

9. Simulation énergétique

9.1. Description

Le processus de simulation énergétique est basé sur un flux de travail automatisé qui intègre de manière transparente divers outils logiciels et sources de données afin de créer des modèles énergétiques précis et détaillés.

Le processus commence par la représentation géométrique des bâtiments. En utilisant une combinaison de Rhinoceros, un puissant logiciel de modélisation 3D, et de Grasshopper, un langage de programmation visuelle pour Rhino, un système automatisé de génération de géométries de bâtiments a été mis au point. Un système automatisé de génération de géométries de bâtiments a été développé. Ce système fonctionne en important les données des bâtiments à partir d'un fichier JSON. Le script Grasshopper interprète ensuite ces données pour construire automatiquement un modèle 3D de chaque bâtiment représentatif. Cette automatisation est cruciale car elle permet de créer rapidement des modèles de bâtiments précis, ce qui simplifie considérablement le processus de modélisation énergétique.

Une fois les modèles géométriques créés, l'étape suivante consiste à incorporer les caractéristiques détaillées du bâtiment et les données de construction. Pour ce faire, on utilise les bibliothèques de construction OpenStudio. OpenStudio, un kit de développement logiciel libre qui prend en charge la modélisation énergétique de l'ensemble du bâtiment, fournit des bibliothèques complètes de matériaux de construction et d'assemblages de construction. En important ces données, les modèles énergétiques sont enrichis d'informations cruciales sur les propriétés thermiques de l'enveloppe des bâtiments, notamment les murs, les toits, les fenêtres et les sols. Cette étape est essentielle pour simuler avec précision le transfert de chaleur et le flux d'énergie du bâtiment.

Le processus de modélisation énergétique intègre ensuite les aspects opérationnels des bâtiments. Les chercheurs ont appliqué des programmes opérationnels basés sur les exigences du Code national de l'énergie pour les bâtiments du Canada (CNÉB). Ces programmes définissent les schémas d'utilisation des bâtiments, y compris l'occupation, l'éclairage, le fonctionnement des équipements et les points de consigne pour le chauffage et la climatisation. En intégrant ces horaires, les modèles énergétiques peuvent tenir compte de la nature dynamique de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, en reflétant la façon dont les habitudes de consommation changent tout au long de la journée et au fil des saisons.

Une fois la géométrie du bâtiment, les données de construction et les programmes opérationnels en place, le processus passe au cœur de la simulation énergétique. L'étude utilise une approche de simulation horaire complète, calculant la performance énergétique de chaque modèle de bâtiment pour chaque heure de l'année. Il en résulte un ensemble complet de 8 760 points de données par bâtiment, ce qui permet d'obtenir une image détaillée des schémas de consommation d'énergie annuels. Ce niveau de résolution temporelle est essentiel pour saisir les effets nuancés des

conditions météorologiques changeantes, des fluctuations d'occupation et de l'utilisation variable des équipements sur la performance énergétique des bâtiments. La simulation utilise EnergyPlus comme moteur de calcul, étant donné son intégration avec OpenStudio. EnergyPlus est un programme de simulation énergétique de pointe pour l'ensemble du bâtiment, largement utilisé dans l'analyse de la performance des bâtiments. Il utilise des calculs détaillés du bilan thermique et peut modéliser des interactions complexes entre les systèmes du bâtiment, ce qui permet d'obtenir des résultats très précis.

La simulation calcule diverses mesures énergétiques, notamment la consommation totale d'énergie, les charges de chauffage et de refroidissement et les charges d'utilisation finale. Ces calculs prennent en compte de nombreux facteurs tels que les données météorologiques locales, l'orientation du bâtiment, les effets de masse thermique et les caractéristiques de performance des systèmes CVC. Une version supplémentaire de ce modèle énergétique a été créée, incluant des propriétés thermiques plus élevées des bâtiments, afin de permettre la compréhension de la diminution de la consommation d'énergie par la modernisation des bâtiments. Une fois les simulations terminées, les résultats sont exportés au format CSV.

En employant ce processus complet de simulation et de modélisation énergétique, l'étude génère une multitude de données détaillées et fiables sur la performance énergétique du parc immobilier de Montréal. Cette approche permet non seulement de mieux comprendre les modèles de consommation d'énergie actuels, mais aussi de créer un outil puissant pour explorer des stratégies potentielles d'économie d'énergie. La modélisation détaillée des bâtiments permet aux chercheurs de tester divers scénarios, tels que l'impact des différents matériaux de construction, les effets de la rénovation des bâtiments ou les avantages potentiels des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) avancés. En fin de compte, ce processus de modélisation énergétique sophistiqué est une ressource précieuse pour les urbanistes, les analystes de l'énergie et les décideurs qui travaillent à l'amélioration de l'efficacité énergétique et du potentiel de décarbonisation de l'environnement bâti de Montréal.

9.2. Validation des résultats

Même si les résultats seront montrés et détaillés dans la rapport complet de Dunsky, une première validation a été faite pour confirmer les tendances de consommation. Nous observons de résultats cohérents, par usage de bâtiment et par âge du bâtiment.

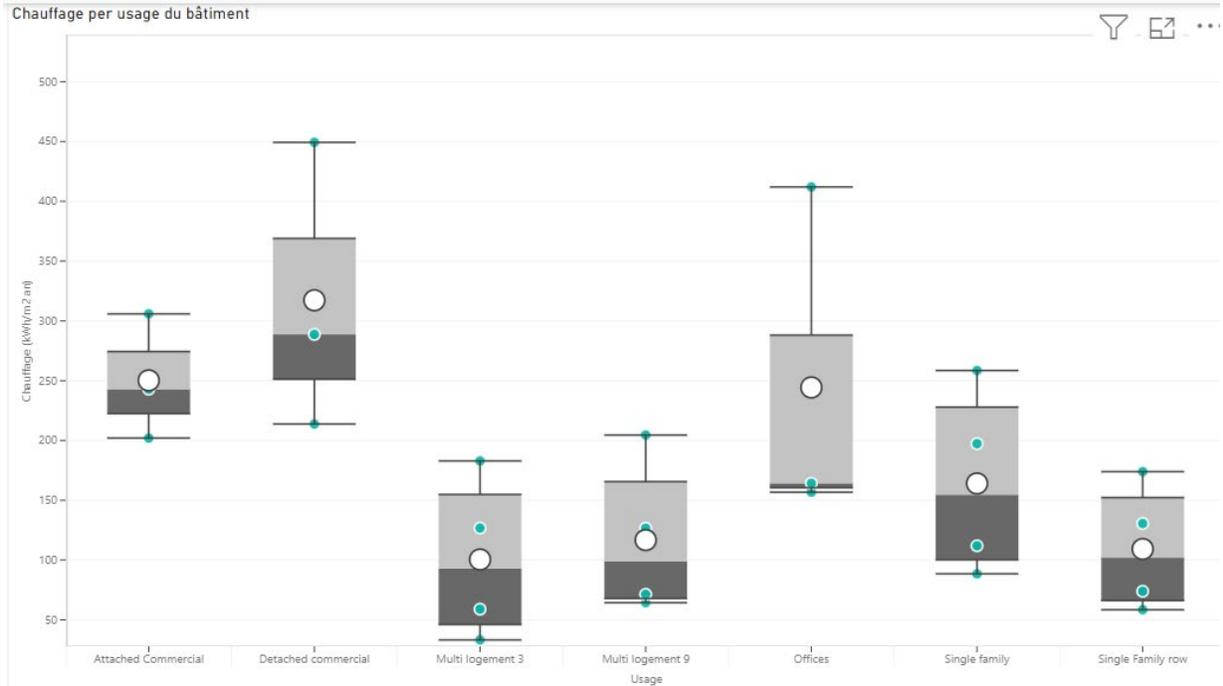


Figure 38 : Chauffage par mc par typologie de bâtiment

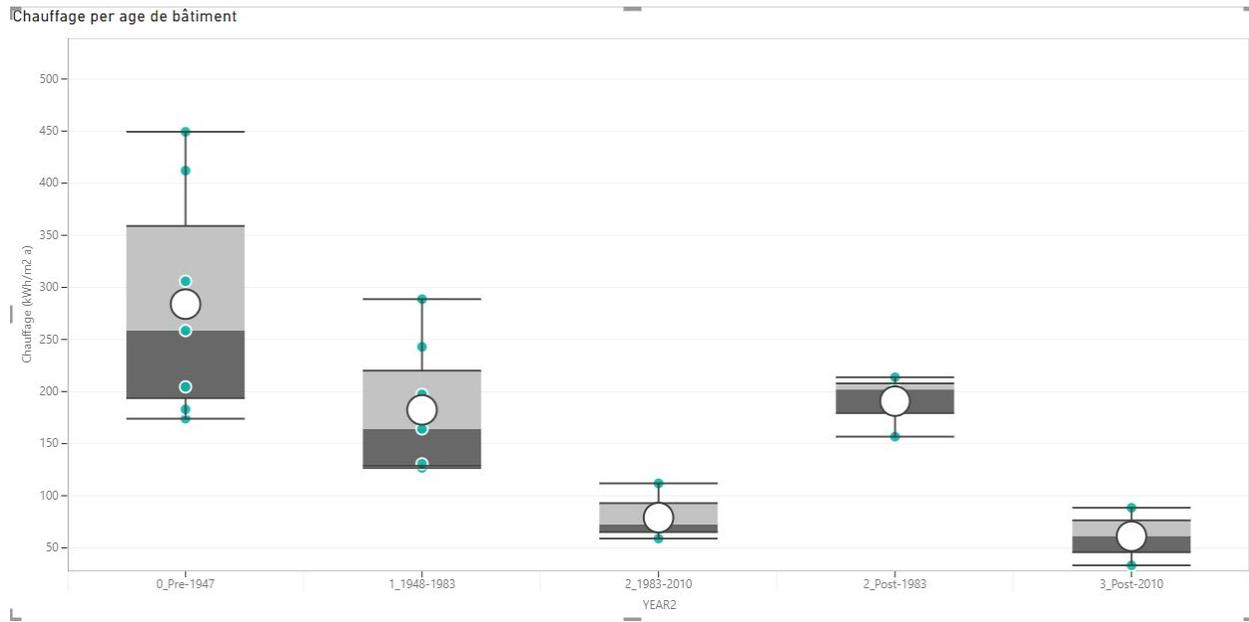


Figure 39 : Chauffage par mc par age du bâtiment

10. Conclusion

Ce document décrit en détail le flux de travail, les hypothèses prises, et les résultats (plus précisément, les centroïdes sélectionnés) pour chaque archétype développé. La méthode développée par Concordia a été simplifiée pour réduire le nombre d'archétypes et ajusté selon les commentaires des équipes de Dunsky et l'ETS.

À travers ce processus systématique, un total de 25 archétypes a été créé pour représenter de manière précise l'environnement bâti des petits bâtiments de moins de 1858 mètres carrés. Le résultat du processus de regroupement a été modifié pour tenir compte du nombre limité d'archétypes possibles et de la simplicité de l'interface utilisateur souhaitée.

De plus, des données de construction complètes ont été recueillies pour toutes les typologies de bâtiments et les périodes de construction respectives. Un examen complet des données publiques disponibles a été utilisé et un résultat concluant des valeurs R et caractéristiques de construction sélectionnées est proposé.

Les étapes suivantes comprennent les tâches suivantes :

1. Développer des modèles énergétiques simplifiés pour les archétypes proposés
2. Développement de jeux de construction numériques pour les valeurs r proposées
3. Simulation des modèles énergétiques avec des températures de fonctionnement constantes et fourniture de la demande d'utilisation finale attendue dans une situation idéale
4. Développement d'une variante efficace en énergie pour représenter le comportement énergétique amélioré des bâtiments
5. Compilation et extraction de tous les résultats d'un processus de simulation d'un an.

11. Références

- *Energy Use in Canada: Publications | Natural Resources Canada.* (n.d.). Retrieved April 22, 2024, from <https://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistics/sheu/2015/index.cfm>
- *Profile table, Census Profile, 2021 Census of Population - Montréal, Ville (V) [Census subdivision], Quebec.* (n.d.). Retrieved April 22, 2024, from <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=E&GENDERlist=1&STATISTIClist=1&HEADERlist=0&DGUIDlist=2021A00052466023&SearchText=montreal>
- *EnerGuide: This resource provides access to measured data from energy audits, offering valuable insights into the actual performance of residential units.*
- HUB/NECB hub/data at main - hub - CERC Git (concordia.ca)

- HTAP NRCan-IETS-CE-O-HBC/HTAP: NRCan's Ruby scripts for batch analysis and optimization with HOT2000 (github.com)
- Pre-World War II houses : NH18-31/1-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
- Post-War 1 1/2-storey homes : NH18-31/2-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
- Post-60s two-storey homes : NH18-31/3-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
- 1960s or 70s one-storey homes : NH18-31/4-2006E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca
- Renovating distinctive homes : 1-1/2 storey post-war homes. <https://publications.gc.ca/site/eng/9.830702/publication.html>
- Duplexes and triplexes <https://publications.gc.ca/site/eng/9.564306/publication.html>
- Row houses <https://publications.gc.ca/site/eng/9.564307/publication.html>
- Split entry homes <https://publications.gc.ca/site/eng/9.564304/publication.html>
- Split-level homes <https://publications.gc.ca/site/eng/9.564303/publication.html>
- Canadian wood-frame house construction <https://publications.gc.ca/site/eng/9.859612/publication.html>
- CAGBC Decarbonizing Canada's Large Buildings: A Path Forward (cagbc.org)
Association of Construction and Housing Professionals of Quebec (APCHQ): Wall sections <https://www.apchq.com/download/ac31bdc975ed5de89ad2146eb344a2042bf53a2d.pdf>
- International Energy Conservation Code (IECC): <https://codes.iccsafe.org/content/IECC2021P1>
Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) <https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2018/guide.php>

12. Annexe 1 : Tableau-sommaire des archetypes

Les fiches suivantes montrent les caractéristiques de tous les archetypes.

	Maison Unifamiliale avant 1947	Maison Unifamiliale 1947-1983	Maison unifamiliale 1984-2010	Maison unifamiliale après 2010
Photo	 Pte 1946 1465 Ottawa Rd	 1946 - 1983 172 Drope Ave	 1984 - 2010 15 Rue Lafford	 Après 2010 1410 Rue Barre
Superficie de plancher (m2)	187.26	215.07	401.88	220.49
Données constructifs				
Murs (RSI) (m2-K/W)	1.70 1	1.90 1	2.80 1	4.31 3
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	2.24 1	2.59 1	4.15 1	7.22 3
Planchers (RSI) (m2-K/W)	2.98 1	3.76 1	5.06 1	5.20 3
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	3.85 2	3.33 2	2.73 2	2.003
SHGC	0.65 2	0.65 2	0.59 2	0.35 2
m3/s per m2	579 * 10-4 1	455 * 10-4 1	314 * 10-4 1	2 * 10-4 1
WWR (%)*	20 1	20 1	20 1	20 1
Couches de construction suggérés				
Murs	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. 1	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation 3
Toitures	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4
Planchers	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4

Figure 40 : Sommaire des archetypes pour maison unifamiliale

	Maison en rangé avant 1947	Maison en rangé 1947-1983	Maison en rangé 1983-2010	Maison en rangé après 2010
Photo	 Pre 1946 3440 Marcell Ave	 1946 – 1983 251 Rue Wilson	 1984 – 2010 74 Rue Terry Fox	 Après 2010 197 Beaumont Dr
Superficie de plancher (m2)	235.64	152.89	140.24	140.55
Données constructives				
Murs (RSI) (m2-K/W)	1.82 1	1.90 1	2.18 1	4.31 3
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	2.32 1	2.66 1	3.43 1	7.22 3
Planchers (RSI) (m2-K/W)	2.23 1	3.36 1	3.50 1	5.20 3
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	3.85 2	3.33 2	2.73 2	2.003
SHGC	0.65 2	0.65 2	0.59 2	0.35 2
m3/s per m2	107 * 10-3 1	672 * 10-4 1	306 * 10-4 1	147 * 10-4 1
WWR (%)*	15 1	15 1	15 1	15 1
Couches de construction suggérées				
Murs	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. 1		Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with batt insulation 2
Toitures	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4
Planchers	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4		Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4

Figure 41 : Sommaire des archetypes pour maison en rangé

	Apartements partie 9 du code avant 1947	Apartements partie 9 du code 1947-1083	Apartements partie 9 du code 1984-2010	Apartements partie 9 du code après 2010
Photo	 Pre 1946 781 Saint Denis St	 1946 – 1983 1218 Av. Lamont	 1984 – 2010 4909 Rue des Cagoux	 Après 2010 5875 Av. des Ormeaux
Superficie de plancher (m2)	496.29	397.02	341.44	211.88
Données constructives				
Murs (RSI) (m2-K/W)	1.82 1	1.81 1	2.93 1	4.31 3
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	1.18 1	1.30 1	3.99 1	7.22 3
Planchers (RSI) (m2-K/W)	2.05 1	1.82 1	3.84 1	5.20 3
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	3.85 2	3.33 2	2.63 2	2.003
SHGC	0.65 2	0.65 2	0.59 2	0.35 2
m3/s per m2	502 * 10-4 *	275 * 10-4 *	125 * 10-4 *	61 * 10-5 *
WWR (%)*	30%*	30%*	30%*	30%*
Couches de construction suggérées				
Murs	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. 1	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation 3
Toitures	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4
Planchers	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4

Figure 42 : Sommaire des archetypes pour appartements partie 9

	Appartements partie 3 du code avant 1947	Appartements partie 3 du code 1947-1083	Appartements partie 3 du code 1984-2010	Appartements partie 3 du code après 2010
Photo	 Pre 1946 48 Av. Joyce	 1946 – 1983 1790 Boulevard Hamet-Boninva E.	 1984 – 2010 16211 Rue Feryth	 Après 2010 2000 Rue Falgaux
Superficie de plancher (m2)	1246.83	1367.46	1658.31	907.70
Données constructifs				
Murs (RSI) (m2-K/W)	1.498 1	1.498 1	0.426 1	0.247 1
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	0.823 1	0.823 1	0.276 1	0.183 1
Planchers (RSI) (m2-K/W)	0.678 1	0.678 1	0.459 1	0.183 1
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	4.20 1	4.20 1	4.20 1	2.20 1
SHGC	0.39 *	0.39 *	0.39 *	0.39 *
m3/s per m2	502 * 10-4 *	275 * 10-4 *	125 * 10-4 *	61 * 10-5 *
WWR (%)*	20 *	20 1	30 1	30 *
Couches de construction suggérées				
Murs	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. 1		Wood frame stud walls with batt insulation	Wood frame stud walls with batt insulation
Toitures	Gypsum board, typical insulation 4		Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4
Planchers	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4		Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4

Figure 43 : Sommaire des archetypes pour appartements partie 3

	Commercial attaché avant 1947	Commercial attaché 1984-2010	Commercial attaché après 1983
Photo	 pre-1946 201 Rue Rachel E.	 1947-1983 8757 Rue Hochelaga	 after 1983 416 Rue Jean-Talbot O.
Superficie de plancher (m2)	663.02	297.39	408.15
Données constructifs			
Murs (RSI) (m2-K/W)	0.82 2	0.62 2	0.33 2
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	0.26 2	0.26 2	0.21 2
Planchers (RSI) (m2-K/W)	0.67 2	0.67 2	0.43 2
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	2.95 2	2.95 2	2.34 2
SHGC	0.39 2	0.39 2	0.39 2
m3/s per m2	606 * 10-4 1	125 * 10-4 1	116 * 10-4 1
WWR (%)*	40%*	40%*	40%*
Couches de construction suggérées			
Murs	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco 1	Steel stud wall w/batt insulation 1	Steel stud wall w/batt insulation. 1
Toitures	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2
Planchers	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2

Figure 44 : Sommaire des archetypes pour commercial attaché

	Commercial détaché avant 1947	Commercial détaché 1984-2010	Commercial détaché après 1983
Photo	 pre-1946 170 Rue Jerry E	 1947-1983 6023 Boulevard Henri-Bourassa E	 after 1983 6971 St-Vincent St
Superficie de plancher (m2)	1481.16	287.97	1032.48
Données constructifs			
Murs (RSI) (m2-K/W)	0.82 2	0.62 2	0.33 2
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	0.26 2	0.26 2	0.21 2
Planchers (RSI) (m2-K/W)	0.67 2	0.67 2	0.43 2
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	2.95 2	2.95 2	2.34 2
SHGC	0.39 2	0.39 2	0.39 2
m3/s per m2	220 * 10-3 *	221 * 10-4 *	254 * 10-4 *
WWR (%)*	40% *	40% *	40% *
Couches de construction suggérées			
Murs	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2
Toitures	Steel stud wall w/batt insulation 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2
Planchers	Steel stud wall w/batt insulation. 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2

Figure 45 : Sommaire des archétypes pour commercial détaché

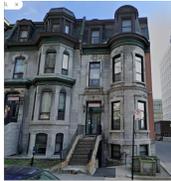
	Bureaux avant 1947	Bureaux 1984-2010	Bureaux après 1983
Photo	 pre-1946 2115 Mackay St	 1947-1983 210 Boulevard Henri-Bourassa E	 after 1983 6413 Rue Jerry E
Superficie de plancher (m2)	404.23	1250.71	733.57
Données constructifs			
Murs (RSI) (m2-K/W)	0.82 2	2.11 3	2.11 3
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	0.26 2	0.26 2	0.26 2
Planchers (RSI) (m2-K/W)	1.31 2	1.31 2	2.13 2
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	2.95 2	5.68 3	3.52 3
SHGC	0.39 2	0.39 2	0.39 2
m3/s per m2	680 * 10-4 1	288 * 10-4 1	168 * 10-4 1
WWR (%)*	40% *	40% *	40% *
Couches de construction suggérées			
Murs	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco 1	Steel stud wall w/batt insulation 2	Steel stud wall w/batt insulation, 2
Toitures	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 1
Planchers	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 1	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 1	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 1

Figure 46 : Sommaire des archétypes pour bureaux

