



**NEXT-GENERATION
CITIES INSTITUTE**

Document sur les archétypes des bâtiments résidentiels multi logement à Québec

Envoyé à ministère de l'Energie



Par : Institut de Villes de Nouvelle Génération, Université Concordia

Révision – 03/11/2023

1 Index

1 INDEX	2
1.1 INDEX DE FIGURES	3
1.2 INDEX DE TABLEAUX	4
2 OBJECTIFS DU DOCUMENT	5
3 ANTÉCÉDENTS.....	5
3.1 CONTRAT CONCORDIA-MERN	5
3.2 DOCUMENTATION UTILISÉE PAR CONCORDIA ET LIVRÉ PAR LE MINISTÈRE.....	6
3.2.1 <i>Données géospatiales</i>	6
3.2.2 <i>Données constructives</i>	9
3.2.3 <i>Données d'infiltration</i>	10
3.2.4 <i>Données opérationnelles (consommation des prises, illumination, occupation, eau chaude sanitaire)</i>	10
3.2.5 <i>Données de systèmes</i>	10
3.2.6 <i>Données pour la validation</i>	11
4 ÉTAPES DE CALCUL.....	12
4.1 CLUSTERISATION GÉOMETRIQUE	12
4.1.1 <i>Méthodologie</i>	12
4.1.2 <i>Résultats</i>	14
4.2 DONNÉES CONSTRUCTIFS POUR LES ARCHETYPES: ANALYSE DES SOURCES ET PROPOSITION D'STRUCTURE DES DONNÉES	18
4.2.1 <i>Introduction</i>	18
4.2.2 <i>Utilisation des données des sources officielles</i>	18
4.2.3 <i>Utilisation des données des sources additionnelles</i>	19
4.2.4 <i>Proposition finale constructive</i>	20
4.2.5 <i>Ponts thermiques</i>	21
4.2.6 <i>Infiltration</i>	24
4.3 DONNÉES POUR L'USAGE DANS LES ARCHETYPES.....	27
4.3.1 <i>Consommation électrique des appartements</i>	27
4.3.2 <i>Profils de présence</i>	29
4.3.3 <i>Profils de température</i>	29
4.3.4 <i>Opération des fenêtres (ventilation naturelle)</i>	30
4.3.5 <i>Eau chaude sanitaire</i>	31
4.4 SYSTÈMES CVCA	33

4.4.1	<i>Ventilation</i>	33
4.4.2	<i>Systèmes CVC</i>	33
4.4.3	<i>Proposition finale d'archétypes</i>	37
4.5	MODÈLE FINAL POUR LES RÉSULTATS.....	38
4.5.1	<i>Création automatisée de modèles avec grasshopper</i>	38
4.5.2	<i>Résumé hypothèses</i>	41
4.5.3	<i>Création of sets constructifs</i>	42
4.5.4	<i>Création de systèmes CVC</i>	42
5	VALIDATION DU MODÈLE FINALE	45
5.1	MÉTHODOLOGIE.....	45
5.2	ANALYSES DES DONNÉES	45
5.3	PREMIERS RESULTATS	46
5.3.1	<i>Comparaison météorologique</i>	48
5.3.2	<i>Simulation avec fichiers OSM</i>	49
5.3.3	<i>Comparaison modèles horaires</i>	50
6	REFERENCES	52

1.1 Index de figures

Figure 1: Couverture des données de RNCan (à gauche) et des bâtiments 3D de la Ville de Montréal (à droite)	7
Figure 2: Correction de la hauteur des bâtiments à l'aide de données Lidar.....	7
Figure 3: Filtrage par zone pour le nettoyage des données (le vert montre le bâtiment sélectionné et le bleu la zone rejetée).....	8
Figure 4: Paramètres utilisés dans le calcul	12
Figure 5 Procedure pour atteindre les groupes	12
Figure 6 Processus de nettoyage	13
Figure 7 Correlation entre différentes caractéristiques pour bâtiments de moyenne hauteur et grande hauteur	13
Figure 8 Regroupement des résultats	14
Figure 9 : Image du centroïde choisi moyenne hauteur	16
Figure 10 : Image du centroïde choisi grande hauteur	17
Figure 11: Capture d'écran du document [2] mentionnant les hypothèses qu'ils ont utilisé pour leur étude	19
Figure 12: Image du centroïde choisi pour les bâtiments de Moyenne hauteur	21
Figure 13: Image du centroïde choisi pour les bâtiments de grande hauteur.....	23
Figure 14: Boxplot avec les valeurs de ACH ₅₀ dans de bâtiments de 4 etages Energuide	25
Figure 15: Valeurs d'infiltration per façade à Canada [1].....	25
Figure 16: Valeurs d'infiltration per façade à Canada [3].....	26
Figure 17: Profils horaires de consommation des appareils électriques, illumination et autres consommations (ventilateurs)	27
Figure 18: Profils de présence à la maison	29
Figure 19: Profils de température de consigne, suivant le NECB profil G	29
Figure 20: Profils d'eau chaude sanitaire	31
Figure 21: Profils d'eau chaude sanitaire NECB	32
Figure 22: The main sources and equipment used for heating in Quebec buildings	34
Figure 23: Types of air conditioning systems used in Quebec buildings	35
Figure 24: Type of fuel used for heating water	35

<i>Figure 25: Pourcentage de MURBs par quartier (FSA) et ratio électricité-gaz naturel</i>	36
<i>Figure 26: Scatterplot comparant pourcentage d'électricité sur le total et le pourcentage de MURBs sur le total de logements. La taille des boules est la consommation d'énergie finale totale.</i>	36
<i>Figure 27 : Étape a</i>	38
<i>Figure 28 : Étape b</i>	39
<i>Figure 29 : Étape c</i>	39
<i>Figure 30 : Bâtiment moyenne hauteur et grande hauteur, avec les divisions d'appartements</i>	40
<i>Figure 31: Système de climatisation unitaire dans Open Studio</i>	42
<i>Figure 32: Chauffe-eau électrique décentralisé</i>	43
<i>Figure 33: Chaudière centrale à gaz</i>	43
<i>Figure 34: Système central de pompe à chaleur</i>	44
<i>Figure 35: Consommation énergie par année dans les 50 bâtiments multilogements envoyés par Hydro-Québec</i>	45
<i>Figure 36: Boxplot avec consommation par appartement et pointe électrique par appartement incluant tous les cas</i>	46
<i>Figure 37: Détection de valeurs aberrants pour filtrer les données</i>	46
<i>Figure 38: Boxplot avec la consommation par m² et la puissance par m² (hypothèse de surface moyenne appartements de 82 m²)</i>	47
<i>Figure 39: Consommation électrique par appartement par rapport à l'âge des bâtiments</i>	47
<i>Figure 40 : Moyennes températures McTavish et epw</i>	48
<i>Figure 41: Degrés jour à 18°C, base horaire, comparaison McTavish et epw</i>	48
<i>Figure 42: Boxplot d'énergie par m² des bâtiments d'HQ à Montréal, pointe par m² et ratio hiver-été (énergie) par rapport aux calculs de HQ</i>	49
<i>Figure 43: Consommation horaire simulation (en haut) et données existantes (en bas), semaine février (températures semblables, selon Figure 40</i>	50
<i>Figure 44: Consommation horaire simulation (en haut) et données existantes (en bas), semaine juillet</i>	51

1.2 Index de tableaux

<i>Tableau 1 Cases moyenne hauteur</i>	14
<i>Tableau 2 Cases grande hauteur</i>	15
<i>Tableau 3 Résultats de la pondération sélectionnée pour les bâtiments de moyenne hauteur</i>	15
<i>Tableau 4 Résultats de la pondération sélectionnée pour les bâtiments de grande hauteur</i>	15
<i>Tableau 5 Adresse du cas choisi moyenne hauteur</i>	16
<i>Tableau 6 Adresse du cas choisi moyenne hauteur</i>	17
<i>Tableau 7 : Résumé des données utilisées par l'outil BTAP pour bâtiments multilogement</i>	19
<i>Tableau 8: Résumé des propositions d'archetypation de [1]</i>	20
<i>Tableau 9: Proposition finale constructive</i>	20
<i>Tableau 10: Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques zone 6A</i>	22
<i>Tableau 11: Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques zone 7A</i>	22
<i>Tableau 12 Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques grande hauteur zone 6A</i>	23
<i>Tableau 13 Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques grande hauteur zone 7A</i>	24
<i>Tableau 14: Proposition de valeurs d'infiltration implementées dans les modèles OSM</i>	26
<i>Tableau 15: Corrélation de Pearson pour détecter le numéro de profils nécessaires</i>	28
<i>Tableau 16: Profils horaires pour incorporer à Openstudio</i>	28
<i>Tableau 17: Profils d'eau chaude sanitaire</i>	31
<i>Tableau 18: Archétypes proposés</i>	37
<i>Tableau 19: Archétypes proposés</i>	38

2 Objectifs du document

Ce document vise :

- Planifier le développement d'archétypes pour les bâtiments multi-logements
- Établir clairement les hypothèses avant chaque une des étapes
- Tester les méthodologies avec des échantillons des données disponibles

Cependant, nous voulons que ce document soit un document vivant et utile pour échanger entre le ministère et l'équipe de Concordia.

C'est pourquoi, au sein des différents chapitres du document apparaîtront des enjeux qui devront être validés par l'équipe du Ministère, afin d'avancer au plus vite vers une constitution d'archétypes.

De même, en phase finale, de nouvelles étapes seront jugées nécessaires pour approfondir le problème.

3 Antécédents

3.1 Contrat Concordia-MERN

Concordia travaille, depuis longtemps, pour développer des archétypes de bâtiments avec l'objectif de créer des jumeaux numériques des villes. Dans cette effort, les chercheurs.uses de Concordia ont développé méthodologies pour détecter la quantité d'archétypes que doivent être assigner a chaque type d'usage.

Le Ministère et Hydro-Québec mènent une initiative visant à documenter le plus précisément possible les types de bâtiments qui existent au Québec.

C'est pour cette raison que le Ministère a contracté Concordia (et a d'autres universités) pour pouvoir créer des archétypes de bâtiments. Concordia a reçu un contrat pour élaborer ces archétypes pour les logements multi-résidentiels de moyenne et haute hauteur.

3.2 Documentation utilisée par Concordia et livré par le Ministère.

3.2.1 Données géospatiales

3.2.1.1 *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 MURB. Cependant, ces jeux de données n'étaient largement disponibles qu'à Montréal (et même ici, la qualité des données géospatiales n'est pas toujours suffisante). Le jeu de données suivant contient la collection de bâtiments au format geojson pour la ville de Montréal. Le jeu de données a été créé en combinant plusieurs jeux de données open-source fournis par RNCAN et le gouvernement de la ville de Montréal. Data Sources

1. Unités d'évaluation foncière de Montréal (<https://donnees.montreal.ca/dataset/unites-evaluation-fonciere>)
2. Bâtiments 3D de Montréal (modèle LOD2 avec textures)
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>)
6. Données LIDAR ()

3.2.1.2 *Liste des modifications apportées aux jeux de données*

1. Suppression des sommets 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 9999Dataset Information

3.2.1.3 *Traitements effectués*

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 pour l'étude. L'image ci-dessous montre la couverture de 3D CityGML par rapport à l'étude de RNCAN qui a été sélectionnée..

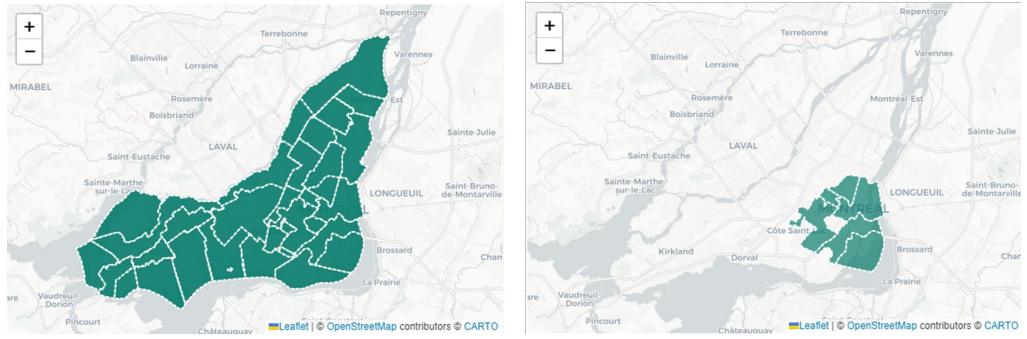


Figure 1: Couverture des données de RNCAN (à gauche) et des bâtiments 3D de la Ville de Montréal (à droite)

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.

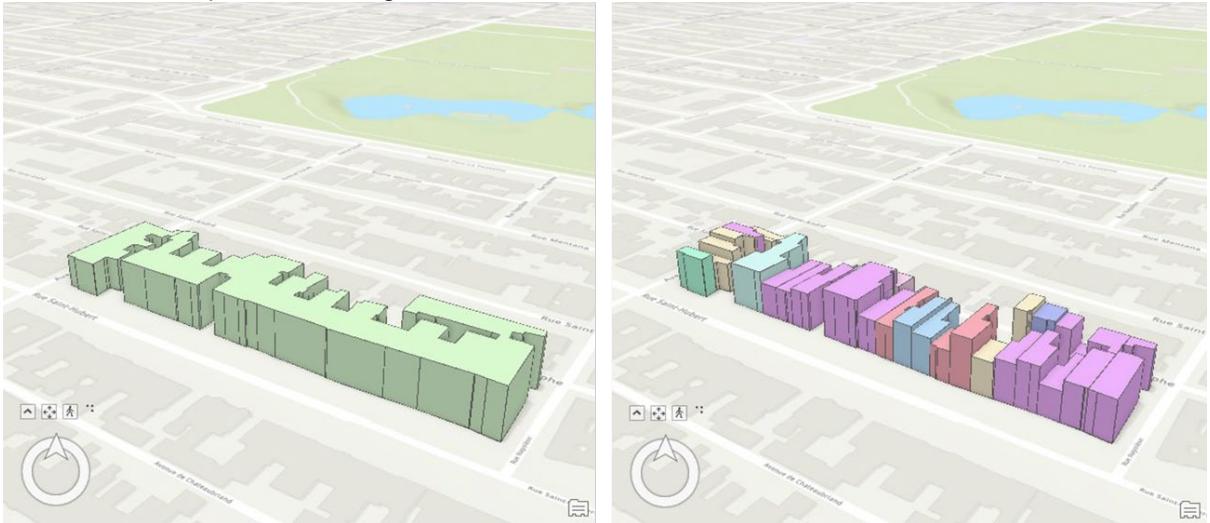


Figure 2: Correction de la hauteur des bâtiments à l'aide de données Lidar

3. **Data Pre-processing:** 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..

3.2.1.1 Validation des datasets 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 centraux (6 arrondissements), les données disponibles sont plus raffinées (CityGML), et nous les avons intégrées.

3.2.2 Données constructives

3.2.2.1 *Données de base*

1. Codes de construction et documents officiels:

- Code de construction du Québec: Document faisant autorité, le Code de construction du Québec offre un aperçu détaillé des normes et des exigences légales pour les structures à Montréal et dans l'ensemble du Québec. Ce code a joué un rôle essentiel dans la compréhension des spécifications obligatoires pour la construction de bâtiments dans la région.
- National Energy Code of Canada for Buildings 2015
- Information de données de simulation pour Openstudio des codes fédérales
- Information de données détaillées de modèles Openstudio pour le code 2011

2. Manuels:

- "Design of Concrete Structures" by Arthur H. Nilson, David Darwin, and Charles W. Dolan: Ce manuel est une pierre angulaire dans le domaine de la conception du béton. Sa couverture exhaustive de la conception structurelle du béton s'est avérée inestimable pour déchiffrer les nuances des ensembles de construction en béton.
- "Steel Structures: Design and Behavior" by Charles G. Salmon, John E. Johnson, and Faris A. Malhas: Ce manuel est une pierre angulaire dans le domaine de la conception du béton. Sa couverture exhaustive de la conception structurelle du béton s'est avérée inestimable pour déchiffrer les nuances des ensembles de construction en béton..

3. Associations professionnelles:

- Canadian Institute of Steel Construction (CISC): En tant qu'organisme leader de la construction métallique au Canada, les publications et les ressources de l'ICCA ont été consultées afin de recueillir des informations actualisées sur les techniques, les normes et les meilleures pratiques en matière de construction métallique..
- Canadian Concrete Masonry Producers Association (CCMPA): Association clé dans le domaine de la construction en maçonnerie, les ressources du CCMPA offrent une connaissance approfondie des subtilités des ensembles de construction en maçonnerie.
- Canadian Standards Association (CSA): La norme CSA A23.3, publiée par la CSA, est un document d'orientation pour la conception des structures en béton au Canada. Cette norme était essentielle pour garantir que les ensembles de construction définis étaient conformes aux meilleures pratiques reconnues au niveau national.

4. Pages web et journaux:

- Sites Web des sociétés d'ingénierie : Un examen des sites web des principales sociétés d'ingénierie basées à Montréal a fourni des études de cas réels et des aperçus détaillés de projets de construction spécifiques, offrant une perspective pratique sur les ensembles de construction.
- Revues académiques : Les revues savantes dans les domaines du génie civil et de l'architecture ont été parcourues à la recherche d'articles portant sur des systèmes structuraux, des innovations ou des études de cas spécifiques. Ces ressources académiques ont permis d'approfondir la recherche, en présentant des développements de pointe et des perspectives historiques sur les jeux de construction.

3.2.2.2 *Réunion avec équipe McGill. Données*

Le projet DataHomeBase de l'équipe de Prof. Naomi Keena de la faculté de McGill a proposé de développer des "passeports de logement" (HP) - des descriptions numériques normalisées des caractéristiques des bâtiments résidentiels. Chaque passeport représentera différentes typologies résidentielles basées sur l'analyse du parc immobilier existant.

Dans le cadre de ce projet, des modèles BIM très détaillés de différents millésimes de différents types de logements, y compris des IRLM, qui peuvent être considérés comme des archétypes de bâtiments résidentiels. L'objectif de McGill étant d'inclure les aspects liés à l'énergie intrinsèque, ils ont développé une analyse de matérialité très détaillée, et les ensembles de construction sont donc très élaborés.

Néanmoins, ce projet n'a pas encore été publié et, par conséquent, le professeur Keena n'a pas été en mesure de partager ces informations avec l'équipe de développement des archétypes.

Étant donné que l'approche des archétypes consistera à incorporer différents ensembles de données de construction par le biais de mesures dans OpenStudio, une fois que les ensembles de données du professeur Keena seront disponibles, nous serons en mesure d'incorporer un nouvel ensemble de données dans la bibliothèque avec les valeurs requises.

3.2.2.3 Références additionnelles

Parmi toutes ces références, deux ressortent de manière significative, et nous les avons utilisées pour finaliser l'ensemble des données de construction et ajouter des détails significatifs.

- La première est une thèse de maîtrise de l'Université de Waterloo, de Matthew Charbonneau, intitulée "Simulating the Effects of Enclosure Retrofits on Post-War High-Rise Apartment Buildings in Cold Climates", qui contient une analyse détaillée des typologies de construction des immeubles de grande hauteur après la guerre. [1]
- Le second est un document de GBC intitulé "Decarbonizing Canada's Large Buildings : a path forward" (Décarbonisation des grands bâtiments du Canada : une voie à suivre), qui comprend des détails de simulation d'IRLM de moyenne et grande hauteur (parmi d'autres bâtiments) et donne des ensembles de construction de bâtiments situés à Vancouver, Calgary, Toronto et Montréal. [2]

3.2.3 Données d'infiltration

Pour les données d'infiltration, plusieurs documents ont été consultés et plusieurs données analysées :

- Energuide datasets : le programme energuide a partagé avec l'équipe de Concordia les datasets pour le Québec. L'avantage d'Energuide est que les ensembles de données contiennent des données sur les tests d'infiltration. Bien que les données d'Energuide concernent les bâtiments de faible hauteur, nous avons filtré les bâtiments de moins de 3 étages et nous allons essayer de comprendre si les données sont applicables.
- Les données d'une étude portant sur 88 bâtiments sont présentées à titre d'orientation pour les ensembles d'enrichissement de la construction en fonction du millésime modélisé. Référence (RDH Building Science Inc. (2015). Étude de l'étanchéité à l'air des bâtiments de la partie 3. 148.) [3]
- Plusieurs références concernant l'infiltration, comme [4] ou [5]

3.2.4 Données opérationnelles (consommation des prises, illumination, occupation, eau chaude sanitaire)

Les données de consommation opérationnelle, encore une couche de la modélisation que nous avons fait, proviendront de deux sources, dans le modèle de simulation :

- Profils NECB, profil G, pour les gains internes, occupation, présence, eau chaude sanitaire
- Données Hydro-Québec OPE-IMA-METEO : Jeu de données anonymisées contient les réponses du questionnaire de l'Outil de Performance Énergétique (OPE) de l'espace client Hydro-Québec de plus de 70 000 clients résidentiels couplées avec leur profil de consommation électrique sur une année de même que les conditions météorologiques associées.

3.2.5 Données de systèmes

Les données de systèmes proviennent de

- Enquête sur l'utilisation de l'énergie par les ménages (EUÉM) de 2015 (SHEU)
- Données HydroQuébec et Energir sur la consommation quart-horaire de 2019 par code postal

3.2.6 Données pour la validation

Pour la validation des modèles, nous avons utilisé différentes sources :

- Données HydroQuébec et Energir sur la consommation quart-horaire de 2019 par code postal
- Données Hydro Québec sur la consommation horaire de 50 bâtiments multilogement (18 bâtiments à Montréal, 30 bâtiments à Québec, 2 bâtiments à Trois Rivières)

4 Étapes de calcul

4.1 Clusterisation géométrique

4.1.1 Méthodologie

Avec les données géospatiales filtrés pour Montréal, nous avons procédé à grouper les bâtiments en clusters que peuvent représenter les formes de bâtiments multi logement plus étendus au Québec. Nous comprenons que, pour pouvoir être certains de l'applicabilité de la catégorisation nous devrions la tester avec d'autres villes, mais la manque de données géospatiales dans ces autres villes nous pousse à réviser les données une fois ces données seront disponibles.

Les données que nous avons pu trouver et consolider étaient principalement des données géométriques et des données sur l'année de construction du bâtiment. De nombreuses références font état de l'effet très important des caractéristiques géométriques, la coexistence 'adjacency' du bâtiment, et de l'année de construction sur la demande thermique globale des bâtiments, ce qui est notre objectif. Ces caractéristiques géométriques comprennent le aspect ratio, le compactness ratio.

Données géométriques	Données sémantiques	Calculé	
<ul style="list-style-type: none">• Forme du bâtiment• Superficie du bâtiment• Hauteur	<ul style="list-style-type: none">• Année de construction	<ul style="list-style-type: none">• S/V (Superficie de l'enveloppe/Volume)• Aspect Ratio (longueur/largeur)	<p>par type de bâtiment (Semi-attached, Detached, Attached)</p>

Figure 4: Paramètres utilisés dans le calcul

Notre méthodologie globale est définie par les grandes étapes suivantes. Le premier élément de ségrégation majeur dans l'ensemble de données et qui est très efficace dans la demande d'énergie des bâtiments est le type de contiguïté des bâtiments. Nous les avons divisés en trois catégories principales (structures attachées, détachées et semi-détachées).

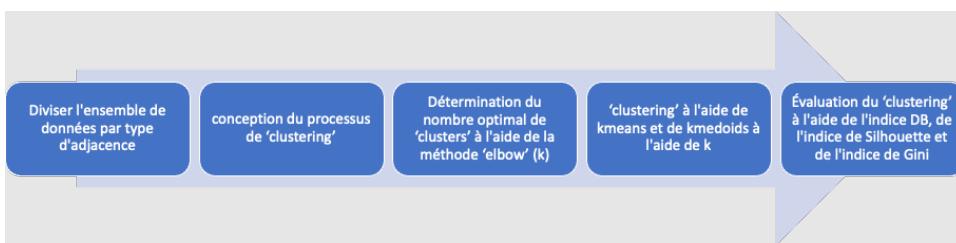


Figure 5 Procédure pour atteindre les groupes

Les méthodes de "clustering" couvrent un grand nombre de types et d'utilisations différents. La méthode la plus couramment utilisée dans l'environnement bâti, d'après la littérature, est celle des "k means". K-means minimise la somme des distances quadratiques à l'intérieur de la classe par rapport à la moyenne de la classe. Le centroïde d'une classe est la moyenne de tous les points de la classe.

De plus, nous avons décidé de le comparer à un autre algorithme afin de déterminer la meilleure performance. La liste des caractéristiques utilisées est la suivante:

hauteur du bâtiment - surface au sol - le volume - le rapport d'aspect - rapport entre la surface et le volume - année de construction - nombre d'unités

L'identification de la valeur de "k" dans la population étudiée est une étape essentielle de la méthode "k means clustering". Ce processus est réalisé à l'aide de plusieurs méthodes, mais la méthode la plus couramment utilisée est la "méthode du elbow". Ensuite, le processus de "clustering" se met en place. La population de données est divisée en groupes plus petits où un centroïde est utilisé pour représenter le groupe.

La dernière partie consiste à évaluer les "clusters" que nous avons obtenus afin de pouvoir fournir des recommandations sur les données nécessaires à l'avenir et comparer les différentes approches.

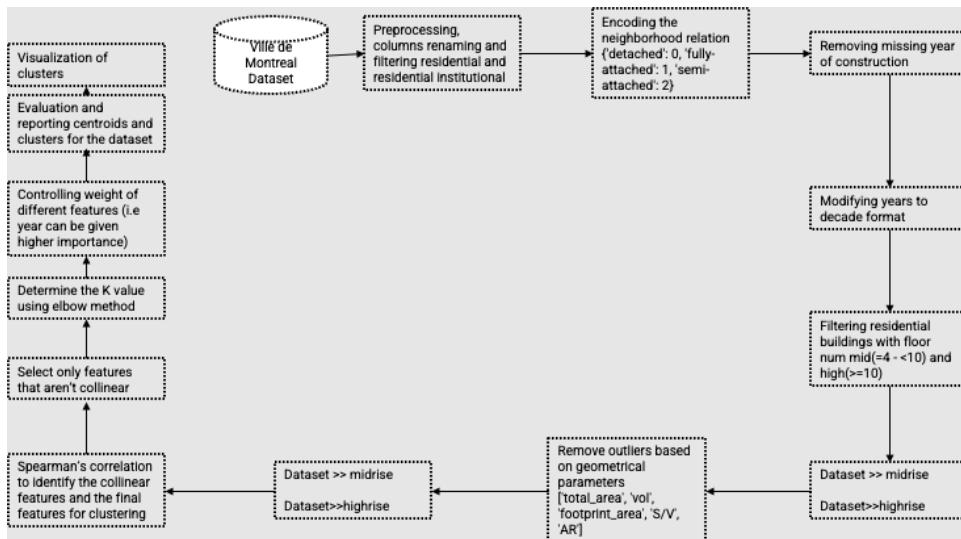


Figure 6 Processus de nettoyage

à analyser la corrélation entre les caractéristiques obtenues dans l'ensemble de données. L'idée est ici d'éliminer les caractéristiques fortement corrélées et de n'en conserver qu'une seule afin de ne pas fausser le processus de "clustering".

Nous nous sommes retrouvés avec 5 caractéristiques à utiliser :

- 'aspect ratio'
- 'surface area to volume ratio'
- décennie de construction - Nous avons changé le format annuel pour simplifier les choses.

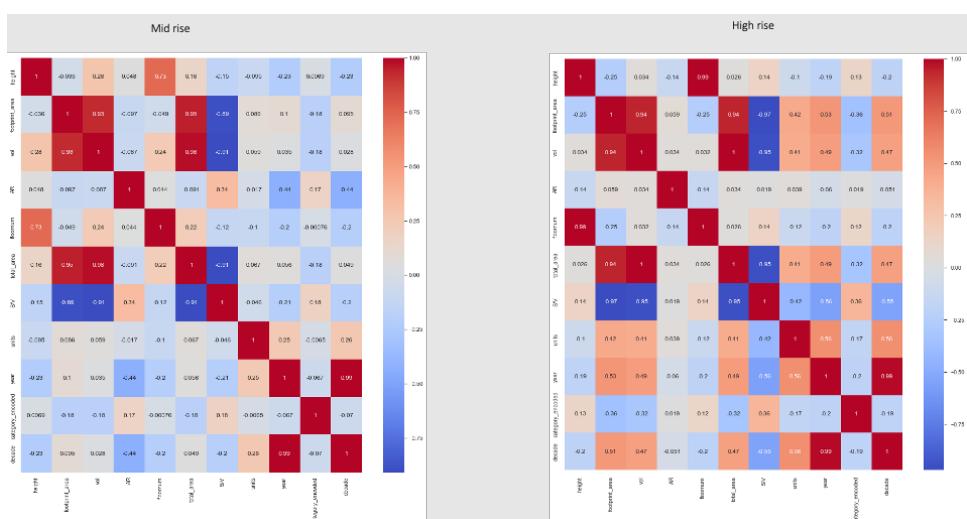


Figure 7 Correlation entre différentes caractéristiques pour bâtiments de moyenne hauteur et grande hauteur

Une deuxième étape dans le code qui permet d'ajuster les poids des caractéristiques. Nous avons multiplié par 1.5-2 l'importance de la décennie de construction par rapport aux autres caractéristiques, de sorte que l'algorithme lui donne la priorité lors de l'analyse. Vous pouvez voir clairement qu'il y a des groupes plus clairs dans la fonctionnalité de la décennie, ce qui lui confère une plus grande priorité au cours du processus.

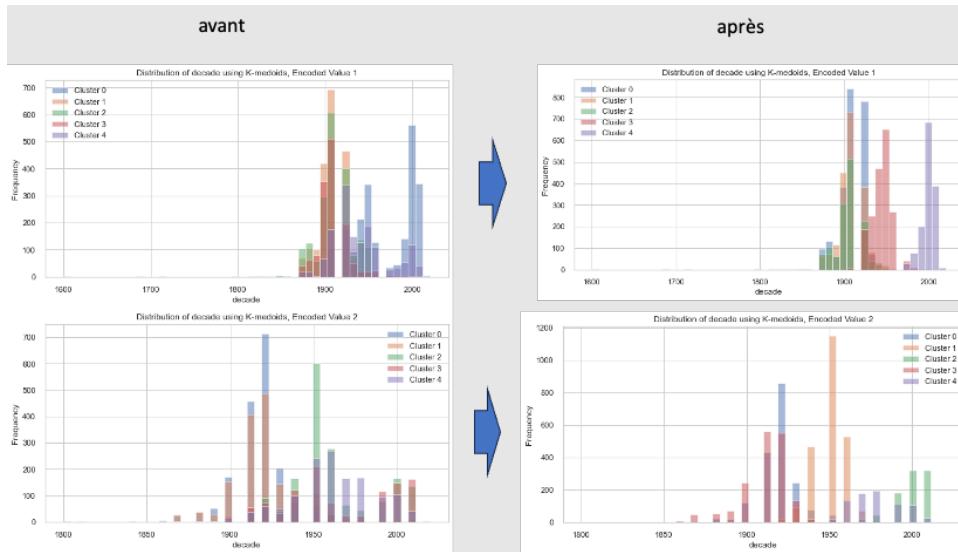


Figure 8 Regroupement des résultats

4.1.2 Résultats

Dans la section suivante, nous avons étudié le meilleur résultat de regroupement en évaluant le score de Silhouette en fonction du nombre de caractéristiques utilisées pour diviser l'ensemble de données et du facteur de pondération pour le millésime. L'étude a démontré que les configurations optimales ne comportaient que les caractéristiques essentielles (surface/volume, rapport d'aspect et décennie). Dans la catégorie des immeubles de moyenne hauteur, le facteur de pondération de 1,5 a permis d'obtenir le score de silhouette moyen le plus élevé pour les différentes catégories d'attachement exprimées en valeurs codées (attaché, détaché et semi-attaché). Dans la catégorie des immeubles de grande hauteur, le facteur de pondération de 2 a donné le score de silhouette moyen le plus élevé.

Tableau 1 Cases moyenne hauteur

Weight Decade Feature	for Encoded Value	Silhouette Score	features
1.5	0	0.32	less
1.5	1	0.34	less
1.5	2	0.41	less
1.5	0	0.29	original
1.5	1	0.29	original
1.5	2	0.27	original
2	0	0.32	less
2	1	0.32	less
2	2	0.33	less
2	0	0.30	original
2	1	0.33	original

2	2	0.32	original
---	---	------	----------

Tableau 2 Cases grande hauteur

Highrise Archetype Weight for Decade Feature	Encoded Value	Silhouette Score	features
1.5	0	0.31	less
1.5	1	0.37	less
1.5	2	0.38	less
1.5	0	0.24	original
1.5	1	0.35	original
1.5	2	0.29	original
2	0	0.31	less
2	1	0.43	less
2	2	0.39	less
2	0	0.29	original
2	1	0.34	original
2	2	0.28	original

Suite aux résultats obtenus, un retraitement a été effectué afin d'identifier les grappes finales pour chaque catégorie de hauteur. Un nombre variable de centroïdes a été identifié pour chaque catégorie d'attache de bâtiment.

Tableau 3 Résultats de la pondération sélectionnée pour les bâtiments de moyenne hauteur

AR	S/V	category_encoded	decade	kmeans_labels	kmeans_centroid
2.72	0.25		0	1970	3 centroid_3
1.48	0.25		0	1930	0 centroid_0
1.82	0.34		0	1980	2 centroid_2
1.61	0.25		0	2010	1 centroid_1
1.49	0.25		1	2000	1 centroid_1
1.47	0.41		1	1980	0 centroid_0
2.32	0.30		1	1930	2 centroid_3
1.70	0.30		1	1900	2 centroid_2
1.22	0.40		2	1970	1 centroid_1
2.10	0.32		2	1890	0 centroid_0
1.58	0.32		2	2010	2 centroid_2
2.49	0.33		2	1960	4 centroid_4
1.26	0.28		2	1950	3 centroid_3

Tableau 4 Résultats de la pondération sélectionnée pour les bâtiments de grande hauteur

AR	S/V	category_encoded	decade	kmeans_labels	kmeans_centroid
3.14	0.21		0	1920	2 centroid_2
2.72	0.17		0	1970	1 centroid_1

1.50	0.20	0	1960	3	centroid_3
2.02	0.15	0	2010	0	centroid_0
1.10	0.21	1	2010	1	centroid_1
1.31	0.26	1	1960	2	centroid_2
1.62	0.20	1	1920	0	centroid_0
1.89	0.17	2	2000	1	centroid_1
2.88	0.28	2	1910	0	centroid_0
1.06	0.20	2	1950	2	centroid_2

Entre ces clusters, nous avons choisi les deux plus significants, même si dans des prochaines étapes de la construction d'archétypes toute le reste de centroïdes peuvent être développés.

4.1.2.1 Décision finale sur les centroïdes à développer comme archétypes

Pour la moyenne hauteur, nous avons choisi le centroïde suivant :

Tableau 5 Adresse du cas choisi moyenne hauteur

Original ID	CIVIQUE_FI	NOM_RUE	ID_UEV
271445	4149	Boulevard Saint-Jean (DDO+PCL+PFD)	5223080

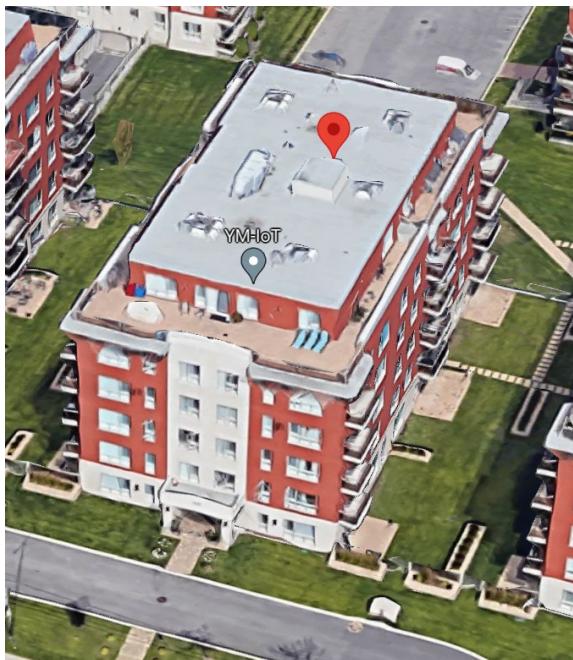


Figure 9 : Image du centroïde choisi moyenne hauteur

Pour les bâtiments de grande hauteur, nous avons choisi le centroïde suivant :

Tableau 6 Adresse du cas choisi moyenne hauteur

Original ID	CIVIQUE_FI	NOM_RUE	ID_UEV
218925	5999	Avenue de Monkland (MTL)	3065859

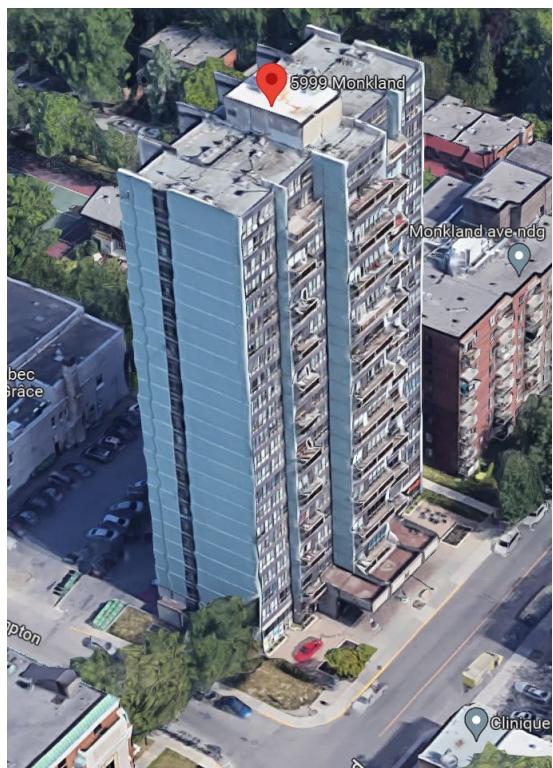


Figure 10 : Image du centroïde choisi grande hauteur

4.2 Données constructifs pour les archétypes: analyse des sources et proposition d'structure des données

4.2.1 Introduction

Le Québec, avec son riche patrimoine architectural et sa population diversifiée, s'enorgueillit d'un nombre important d'immeubles résidentiels à logements multiples. Ces structures, construites à différentes époques et reflétant des influences architecturales variées, constituent une partie essentielle du tissu urbain de la ville. Alors que le Québec poursuit son chemin vers la durabilité et l'efficacité énergétique, il devient impératif de comprendre la construction de ces immeubles résidentiels.

Les ensembles de construction, ou la compilation des matériaux et des méthodes utilisés pour construire un bâtiment, sont les éléments fondamentaux de toute structure architecturale. Dans le cas des immeubles résidentiels à logements multiples du Québec, ces jeux de construction sont particulièrement variés, compte tenu de la longue histoire de la ville et des vagues successives de tendances architecturales dont elle a été témoin. Depuis les maisons en rangée revêtues de maçonnerie de la fin du 19e siècle jusqu'aux tours d'habitation modernes où le vitrage domine la façade, les techniques et les matériaux de construction ont beaucoup évolué.

La superposition de ces ensembles de construction, ou la façon dont les différents matériaux sont agencés et intégrés, a une incidence directe sur les performances, la longévité et l'interaction d'un bâtiment avec son environnement. Par exemple, l'ordre dans lequel l'isolation, les matériaux structuraux et les pare-vapeur sont placés peut influencer de manière significative la performance thermique d'un bâtiment et sa résistance aux hivers rigoureux du Québec.

Cependant, la définition de ces ensembles de construction et de leur superposition s'accompagne de son propre lot de défis. L'une des principales limites est le manque de documentation ou de dossiers détaillés sur les processus de construction des bâtiments anciens. Au fil du temps, de nombreux plans originaux, listes de matériaux et notes de construction ont été perdus ou sont inaccessibles. Cette absence de données complique la tâche consistant à définir avec précision les couches de construction, en particulier pour les structures construites à des époques antérieures.

En outre, les pratiques de construction et les matériaux ayant évolué, des modifications ou des rénovations non documentées ont pu être apportées à des bâtiments plus anciens, introduisant de nouvelles couches ou modifiant les couches d'origine. Cette variabilité représente un défi pour la création d'une définition cohérente et standardisée des ensembles de construction pour différents bâtiments et différentes périodes.

Étant donné l'importance de ces ensembles de construction et les défis associés à leur définition, ce rapport cherche à les définir et à les catégoriser pour les immeubles résidentiels à logements multiples de Le Québec. En comprenant clairement ces ensembles de construction et leur superposition, les professionnels peuvent prendre des décisions éclairées, qu'il s'agisse de rénover de vieilles structures ou d'en concevoir de nouvelles, en veillant à ce que les immeubles résidentiels du Québec soient non seulement esthétiques, mais aussi efficaces sur le plan énergétique et durables.

4.2.2 Utilisation des données des sources officielles

Les jeux de données constructifs pour le Québec (et pour l'ensemble du Canada) ont utilisé les jeux de données du NREL et du BTAP comme première référence pour développer et améliorer les différents jeux de construction qui ont été développés dans le présent document.

Les ensembles de données BTAP, utilisés pour tester différents archétypes, pour les appartements de moyenne et grande hauteur, ont les caractéristiques suivantes :

Tableau 7 : Résumé des données utilisées par l'outil BTAP pour bâtiments multilogement

Area Zone thermique	Fermetures opaques		Fermetures transparentes	
	Zone 6A	Zone 7A	Zone 6A	Zone 7A
Pre-1980	Mur avec une U=0.823 W/m2K Toiture atteignant U=0.276 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.678 W/m2K.	Mur avec une U=0.772 W/m2K Toiture atteignant U=0.227 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.678 W/m2K.	Fenêtre avec une U combiné de 2.95 W/m2K, SHGC = 0.39	Fenêtre avec une U combiné de 2.95 W/m2K SHGC = 0.39
1980-2010	Mur avec une U=0.426 W/m2K Toiture atteignant U=0.267 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.459 W/m2K.	Mur avec une U=0.346W/m2K Toiture atteignant U=0.227 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.425 W/m2K.	Fenêtre avec une U combiné de 2.95 W/m2K, SHGC = 0.39	Fenêtre avec une U combiné de 2.95 W/m2K SHGC = 0.39
2011-2017	Mur avec une U=0.247 W/m2K Toiture atteignant U=0.183 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.183 W/m2K.	Mur avec une U=0.210 W/m2K Toiture atteignant U=0.162 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.162 W/m2K.	Fenêtre avec une U combiné de 2.2 W/m2K, SHGC = 0.39	Fenêtre avec une U combiné de 2.2 W/m2K SHGC = 0.39
2018-2020	Mur avec une U=0.247 W/m2K Toiture atteignant U=0.156 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.183 W/m2K.	Mur avec une U=0.210 W/m2K Toiture atteignant U=0.156 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.162 W/m2K.	Fenêtre avec une U combiné de 1.9 W/m2K, SHGC = 0.39	Fenêtre avec une U combiné de 1.9 W/m2K SHGC = 0.39
>2020	Mur avec une U=0.247 W/m2K Toiture atteignant U=0.138 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.156 W/m2K.	Mur avec une U=0.210 W/m2K Toiture atteignant U=0.121 W/m2K. Sol avec isolation pour arriver à U=0.138 W/m2K.	Fenêtre avec une U combiné de 1.73 W/m2K, SHGC = 0.39	Fenêtre avec une U combiné de 1.73 W/m2K SHGC = 0.39

4.2.3 Utilisation des données des sources additionnelles

Des documents antérieurement mentionnées, nous voyons que [2] propose les compositions suivantes de WWR et de fermetures opaques et transparentes pour le bâtiments de grand hauteur. Ils ont aussi inclus les bâtiments de basse hauteur (4 étages) mais, pas les intermédiaires:

Table 43 Baseline building assumptions for mid-rise MURB archetype in Montreal

	1970s	1990s
Enclosure		
Walls	Exposed concrete walls w/interior insulation, uninsulated slab edges, non-thermally broken balconies, effective overall RSI-0.70 m ² -K/W.	Exposed concrete walls w/interior insulation, uninsulated slab edges, non-thermally broken balconies, effective overall RSI-0.70 m ² -K/W.
Windows	Double glazed, non-thermally broken aluminum frames, USI – 3.52 W/m ² -K, SHGC – 0.66.	Double glazed, non-thermally broken aluminum frames, USI – 3.52 W/m ² -K, SHGC – 0.66.
Window-to-wall ratio	30%	40%

Figure 11: Capture d'écran du document [2] mentionnant les hypothèses qu'ils ont utilisé pour leur étude

Dans [1], il y a une proposition aussi de fermetures opaques et transparentes pour la création d'un seul archétype, basé spécialement sur les bâtiments de grande hauteur , résumé dans le Tableau 7

Tableau 8: Résumé des propositions d'archetypation de [1]

Section	Fermetures opaques	Fermetures transparentes
Archetype grande hauteur	<p>Murs composés de 102 mm de briques, de 102 mm de blocs de béton, de 25 mm d'isolant en polystyrène extrudé (EPS) et de 16 mm de lattes en plâtre.</p> <p>La profondeur des balcons varie d'environ 1,12 m (3"-8") à plus de 1,83 m (6"), 1,53 m (5") étant la profondeur la plus courante.</p> <p>La toiture est constituée, de l'intérieur vers l'extérieur, d'une dalle de béton de 165 mm, d'un pare-vapeur, d'une isolation EPS de 51 mm, d'un feutre à quatre couches et de gravier. Les niveaux d'isolation des toits varient de 38mm (1 1/2") à 79mm (3 1/8") d'isolation, 51mm (2") seront utilisés pour l'archétype.</p> <p>Pas de définition des murs de connexion avec le sous-sol.</p>	<p>Les fenêtres existantes de l'Archetype sont à double vitrage avec des cadres en aluminium sans rupture de pont thermique. On a supposé que le vitrage avait une épaisseur de 3,2 mm et que la fenêtre était ouvrable.</p> <p>La fenêtre a une valeur de conductivité du vitrage de U=3.10 W/m2K, une conductivité du marc de U=4.20 W/m2K et une SHGC de 0.66.</p>

Quelques valeurs additionnelles obtenus de l'étude de [1] pour son archetype seront :

- Rapport fenêtre/mur : 32%
- Rapport balcon/mur : 11%

4.2.4 Proposition finale constructive

En base a toutes les considérations mentionnées, nous avons crée une dizaine de sets constructifs qui pourront être utilisés ensemble avec les modèles géométriques de OpenStudio, et changés a travers des mesures.

Tableau 9: Proposition finale constructive

Area	Fermetures opaques		Fermetures transparentes	
Field	Zone 6A	Zone 7A	Zone 6A	Zone 7A
Pre-1950	<p>Mur avec Brique de 10 cm, béton LW de 10 cm, lame d'air de 10 cm, plaque de plâtre de 1,2 cm. U=1.498 W/m2K</p> <p>Toiture membrane de toit, isolation atteignant U=0.823 W/m2K, surface métallique</p> <p>Sol avec isolation pour arriver à U=0.678 W/m2K, béton 4 inches, tapis</p>	<p>Mur avec Brique de 10 cm, béton LW de 10 cm, lame d'air de 10 cm, plaque de plâtre de 1,2 cm. U=1.498 W/m2K</p> <p>Toiture membrane de toit, isolation atteignant U=0.823 W/m2K, surface métallique</p> <p>Sol avec isolation pour arriver à U=0.678 W/m2K, béton 4 inches, tapis</p>	<p>Fenêtre avec une valeur de conductivité du vitrage de U=3.10 W/m2K, une conductivité du marc de U=4.20 W/m2K et une SHGC de 0.66.</p>	<p>Fenêtre a une valeur de conductivité du vitrage de U=3.10 W/m2K, une conductivité du marc de U=4.20 W/m2K et une SHGC de 0.66.</p>
1950-1980	<p>Mur avec Brique de 10 cm, béton LW de 10 cm, isolation de 5 cm, lame d'air de 10 cm, plaque de plâtre de 1,2 cm.</p> <p>Toiture membrane de toit, isolation atteignant U=0.823 W/m2K, surface métallique</p> <p>Sol avec isolation pour arriver à U=0.678 W/m2K, béton 4 inches, tapis</p>	<p>Mur avec Brique de 10 cm, béton LW de 10 cm, isolation de 5 cm lame d'air de 10 cm, plaque de plâtre de 1,2 cm.</p> <p>Toiture membrane de toit, isolation atteignant U=0.823 W/m2K, surface métallique</p> <p>Sol avec isolation pour arriver à U=0.678 W/m2K, béton 4 inches, tapis</p>	<p>Fenêtre avec une valeur de conductivité du vitrage de U=3.10 W/m2K, une conductivité du marc de U=4.20 W/m2K et une SHGC de 0.66.</p>	<p>Fenêtre a une valeur de conductivité du vitrage de U=3.10 W/m2K, une conductivité du marc de U=4.20 W/m2K et une SHGC de 0.66.</p>
1980-2010	<p>Mur avec 25 mm stucco, 5/8" plâtre, isolation virtuelle pour arriver à une U=0.426 W/m2K</p> <p>Toiture membrane de toit, isolation atteignant U=0.276 W/m2K, surface métallique</p> <p>Sol avec isolation pour arriver à U=0.459 W/m2K, béton 4 inches, tapis</p>	<p>Mur avec 25 mm stucco, 5/8" plâtre, isolation virtuelle pour arriver à une U=0.346 W/m2K</p> <p>Toiture membrane de toit, isolation atteignant U=0.227 W/m2K, surface métallique</p> <p>Sol avec isolation pour arriver à U=0.425 W/m2K, béton 4 inches, tapis</p>	<p>Fenêtre avec une valeur de conductivité du vitrage de U=2.8 W/m2K, une conductivité du marc de U=4.20 W/m2K et une SHGC de 0.66.</p>	<p>Fenêtre a une valeur de conductivité du vitrage de U=2.8 W/m2K, une conductivité du marc de U=4.20 W/m2K et une SHGC de 0.66.</p>

2011-2020	Mur avec 25 mm stucco, 5/8" plâtre, isolation virtuelle pour arriver à une $U=0.247 \text{ W/m}^2\text{K}$ Toiture membrane de toit, isolation atteignant $U=0.183 \text{ W/m}^2\text{K}$, surface métallique Sol avec isolation pour arriver à $U=0.183 \text{ W/m}^2\text{K}$, béton 4 inches, tapis	Mur avec 25 mm stucco, 5/8" plâtre, isolation virtuelle pour arriver à une $U=0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$ Toiture membrane de toit, isolation atteignant $U=0.162 \text{ W/m}^2\text{K}$, surface métallique Sol avec isolation pour arriver à $U=0.162 \text{ W/m}^2\text{K}$, béton 4 inches, tapis	Fenêtre avec une valeur de conductivité du vitrage de $U=2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, une conductivité du marc de $U=3.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ et une SHGC de 0.39	Fenêtre a une valeur de conductivité du vitrage de $U=2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, une conductivité du marc de $U=3.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ et une SHGC de 0.39.
>2020	Mur avec 25 mm stucco, 5/8" plâtre, isolation virtuelle pour arriver à une $U=0.247 \text{ W/m}^2\text{K}$ Toiture membrane de toit, isolation atteignant $U=0.138 \text{ W/m}^2\text{K}$, surface métallique Sol avec isolation pour arriver à $U=0.156 \text{ W/m}^2\text{K}$, béton 4 inches, tapis	Mur avec 25 mm stucco, 5/8" plâtre, isolation virtuelle pour arriver à une $U=0.210 \text{ W/m}^2\text{K}$ Toiture membrane de toit, isolation atteignant $U=0.121 \text{ W/m}^2\text{K}$, surface métallique Sol avec isolation pour arriver à $U=0.138 \text{ W/m}^2\text{K}$, béton 4 inches, tapis	Fenêtre avec une valeur de conductivité du vitrage de $U=1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, une conductivité du marc de $U=2.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ et une SHGC de 0.39.	Fenêtre a une valeur de conductivité du vitrage de $U=1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, une conductivité du marc de $U=2.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ et une SHGC de 0.39.

4.2.5 Ponts thermiques

Les ponts thermiques supposent un effet important sur les pertes thermiques des bâtiments, en particulier dans les MURB, avec un nombre important de balcons, ainsi que l'incorporation d'éléments qui peuvent constituer un risque de condensation potentielle.

Bien que l'objectif des archétypes ne soit pas de simuler en détail ces situations, qui sont très concrètes pour chaque projet, nous avons effectué une première analyse de l'impact sur les deux formes choisies (centroïdes) afin de pouvoir incorporer son effet dans la valeur U globale des différents archétypes de construction de bâtiments, en particulier dans les façades où les ponts thermiques se produiront.

4.2.5.1 Bâtiments multi logement moyenne hauteur

Pour l'immeuble de moyenne hauteur qui est à l'origine de l'archétype, nous pouvons voir le nombre de balcons du projet :



Figure 12: Image du centroïde choisi pour les bâtiments de Moyenne hauteur

Nous constatons que les façades sont et ouest ont un total de 16 balcons par façade, tandis que les façades nord et sud n'ont pas de balcon. Nous calculons l'augmentation de la valeur U des différentes façades causée par le pont thermique. Bien que les modèles de simulation puissent permettre de sélectionner des façades en béton et d'incorporer des ponts thermiques, ou d'incorporer des surfaces sans isolation, cela réduirait la capacité des mesures à modifier l'ensemble de la construction d'un bâtiment.

Les hypothèses sont les suivantes :

- Uniquement des balcons à l'est et à l'ouest (16 balcons, 3 m de large, 1,7 m de profondeur et 0,2 m de réflexion, en béton armé).
- 30% de surface vitrée.

Tableau 10: Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques zone 6A

Zone 6A					
	Pre-1950	Pre-1980	1980-2010	2011-2020	>2020
Uvalue façade est	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	48	48	48	48	48
U façade	1.56	0.64	0.50	0.33	0.27
Total area façade est	614.00	614.00	614.00	614.00	614.00
Uvalue façade ouest	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	48	48	48	48	48
U façade	1.56	0.64	0.50	0.33	0.27
Total area façade ouest	614.00	614.00	614.00	614.00	614.00
Uvalue façade nord	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Total area façade nord	750.20	750.20	750.20	750.20	750.20
Uvalue façade sud	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Total area façade sud	750.20	750.20	750.20	750.20	750.20
U total façade	1.53	0.60	0.46	0.28	0.26
Augmentation U	1.8%	6.0%	8.2%	14.7%	3.4%

Tableau 11: Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques zone 7A

Zone 7A					
	Pre-1950	Pre-1980	1980-2010	2011-2020	>2020
Uvalue façade est	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	48	48	48	48	48
U façade	1.56	0.58	0.43	0.29	0.23
Total area façade est	614.00	614.00	614.00	614.00	614.00
Uvalue façade ouest	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	48	48	48	48	48
U façade	1.56	0.58	0.43	0.29	0.23
Total area façade ouest	614.00	614.00	614.00	614.00	614.00
Uvalue façade nord	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Total area façade nord	750.20	750.20	750.20	750.20	750.20
Uvalue façade sud	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Total area façade sud	750.20	750.20	750.20	750.20	750.20
U total façade	1.53	0.53	0.38	0.25	0.22
Augmentation U	1.8%	6.9%	10.3%	17.4%	4.2%

Étant donné que dans les bâtiments antérieurs aux années 1980, la valeur U a été calculée sur la base d'estimations, et que l'impact n'est pas extrêmement significatif, nous n'incorporerons pas les nouvelles couches de construction. Dans le cas des années 1980/2010 et 2011-2020, nous constatons que l'impact est important. Nous incorporerons donc un jeu de construction avec pont thermique dans chacun de ces cas.

4.2.5.2 Bâtiments multi logement grande hauteur

Dans le cas du centroïde de l'immeuble de grande hauteur, nous constatons une particularité dans le centroïde trouvé, à savoir que la façade nord présente une situation de pont thermique très intense, avec une façade complète comportant des nervures verticales et des balcons horizontaux. Cette situation semble particulière, c'est pourquoi nous avons calculé la façade nord comme si elle était équivalente à la façade sud.



Figure 13: Image du centroïde choisi pour les bâtiments de grande hauteur

Les hypothèses sont les suivantes :

- Uniquement des balcons au nord et au sud (68 balcons, 3,65 m de large, 1,7 mètres de profondeur et 0,2 m de réflexion, en béton armé).
- 30% de surface vitrée au nord et au sud.
- 5% de surface vitrée à l'est et à l'ouest

Tableau 12 Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques grande hauteur zone 6A

	Zone 6A				
	Pre-1950	Pre-1980	1980-2010	2011-2020	>2020
Uvalue façade est	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	248	248	248	248	248
U façade	1.58	0.67	0.53	0.36	0.27
Total area façade est	2319.226	2319.23	2319.23	2319.23	2319.23
Uvalue façade ouest	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	248	248	248	248	248
U façade	1.58	0.67	0.53	0.36	0.27
Total area façade ouest	2319.226	2319.23	2319.23	2319.23	2319.23
Uvalue façade nord	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Total area façade nord	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65
Uvalue façade sud	1.50	0.57	0.43	0.25	0.25
Total area façade sud	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65
U total façade	1.55	0.64	0.50	0.32	0.26
Augmentation U	3.8%	12.3%	17.0%	30.3%	7.1%

Tableau 13 Calcule augmentation Valeur conductivité à cause des ponts thermiques grande hauteur zone 7A

Zone 7A					
	Pre-1950	Pre-1980	1980-2010	2011-2020	>2020
Uvalue façade est	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	248	248	248	248	248
U façade	1.58	0.60	0.45	0.32	0.24
Total area façade est	2319.226	2319.23	2319.23	2319.23	2319.23
Uvalue façade ouest	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Psi	1.08	1.08	1.08	1.08	0.29
Length balconies	248	248	248	248	248
U façade	1.58	0.60	0.45	0.32	0.24
Total area façade ouest	2319.226	2319.23	2319.23	2319.23	2319.23
Uvalue façade nord	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Total area façade nord	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65
Uvalue façade sud	1.50	0.50	0.35	0.21	0.21
Total area façade sud	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65	1096.65
U total façade	1.55	0.57	0.42	0.29	0.23
Augmentation U	3.8%	14.2%	21.2%	35.9%	8.6%

4.2.5.3 Conclusion

Nous proposons maintenir les valeurs de conductivité préparée, et au cas où nous voulons implémenter des mesures d'efficacité énergétique, utiliser une mesure pour augmenter l'isolation pour le cas des bâtiments au-delà du 2020. L'isolation serait celle qui améliorerait la façade en la valeur de la différence entre 2011-2020 et au-delà de 2020.

4.2.6 Infiltration

4.2.6.1 Analyse d'information

Les pertes par infiltration dans un bâtiment sont définies comme les pertes thermiques produites par l'infiltration involontaire d'air extérieur à travers l'enveloppe du bâtiment et qui produisent un effet de renouvellement de l'air non traité dans la zone considérée. Ces pertes peuvent, dans certains cas, représenter des pourcentages importants de la demande totale de chaleur du bâtiment.

Cependant, il n'est pas habituel d'effectuer un traitement rigoureux de ces pertes lors de la simulation des bâtiments, car des valeurs de référence constantes sont généralement utilisées ou, dans le meilleur des cas, des variables estimées selon des scénarios génériques, souvent obtenus dans des conditions de latitudes très différentes de celles de la péninsule (à la fois en termes de typologies de bâtiments, de typologies de construction, de conditions climatiques, etc.)

Les tests d'étanchéité sont une pratique très répandue aux États-Unis et en Europe du Nord pour déterminer le niveau d'infiltration dans les maisons individuelles. Cependant, cette pratique n'est pas aussi répandue dans les grands bâtiments commerciaux (dont les bureaux), en raison de divers facteurs probablement liés à la complexité de l'analyse ou à la sous-estimation des effets dérivés, outre le fait qu'elle n'est pas obligatoire en termes de réglementation.

Plusieurs méthodes ont été utilisées ces dernières années pour simuler les infiltrations dans les bâtiments, en utilisant des valeurs provenant de résultats et d'essais antérieurs. Les trois méthodes les plus répandues pour les simuler dans energy plus sont le débit de conception, l'ELA et le modèle de coefficient de débit. Cependant, et bien que les deux derniers soient plus fiables, la source d'information dont nous disposons actuellement peut ne pas nous permettre de calculer exactement les valeurs ELA.

Analyse des sources d'information sur les fuites d'air dans les IRLM

Les sources d'information sur les IRLM ont été décrites précédemment. Dans le cas d'Energuide, nous avons analysé les ensembles de données pour les appartements dans des bâtiments de plus de 3 étages (définis comme des IRLM par le même Energuide). Un ensemble de 827 bâtiments a été trouvé, et une

analyse boxplot a été élaborée pour voir les valeurs de ACH₅₀ (la variable montrée dans l'ensemble de données Energuide), avant qu'aucune rénovation n'ait été effectuée (EVALTYPE=D).

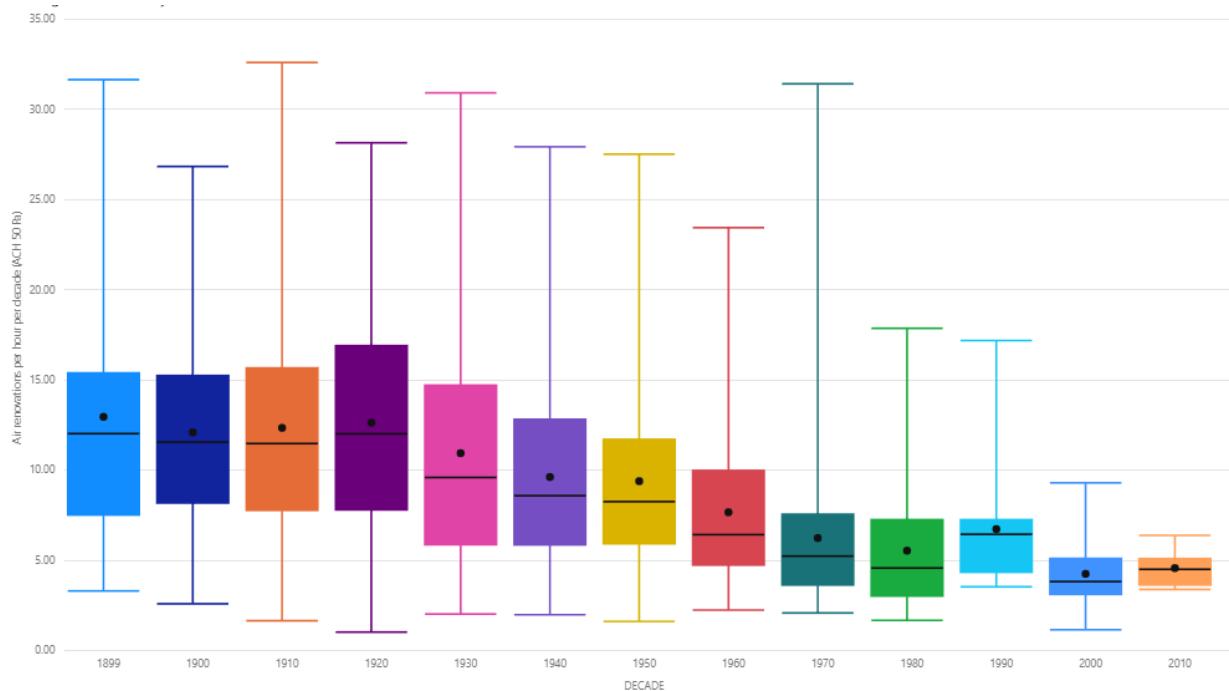


Figure 14: Boxplot avec les valeurs de ACH₅₀ dans de bâtiments de 4 étages Energuide

Nous constatons que les valeurs oscillent entre 5 ACH₅₀ pour les nouveaux bâtiments et 13 ACH₅₀ pour les bâtiments beaucoup plus anciens. Afin de normaliser ces valeurs en l/s m², nous supposons qu'elles appartiennent à un immeuble d'habitation de 4 étages avec 2 appartements par étage (14mx14m). La fourchette équivalente pour les l/sm² serait donc de 2,5 l/sm² à 6,3 l/sm² à 50 Pa.

Une autre source intéressante pour obtenir des informations sur l'infiltration, compilant plusieurs études, est [1]. Dans ce cas, la séparation entre les millésimes n'a pas été clairement effectuée, mais la plupart des bâtiments sont des années 60s et 70s.

La Figure 15 montre les résultats de la compilation de différents études d'infiltration dans des bâtiments multi logement à Canada.

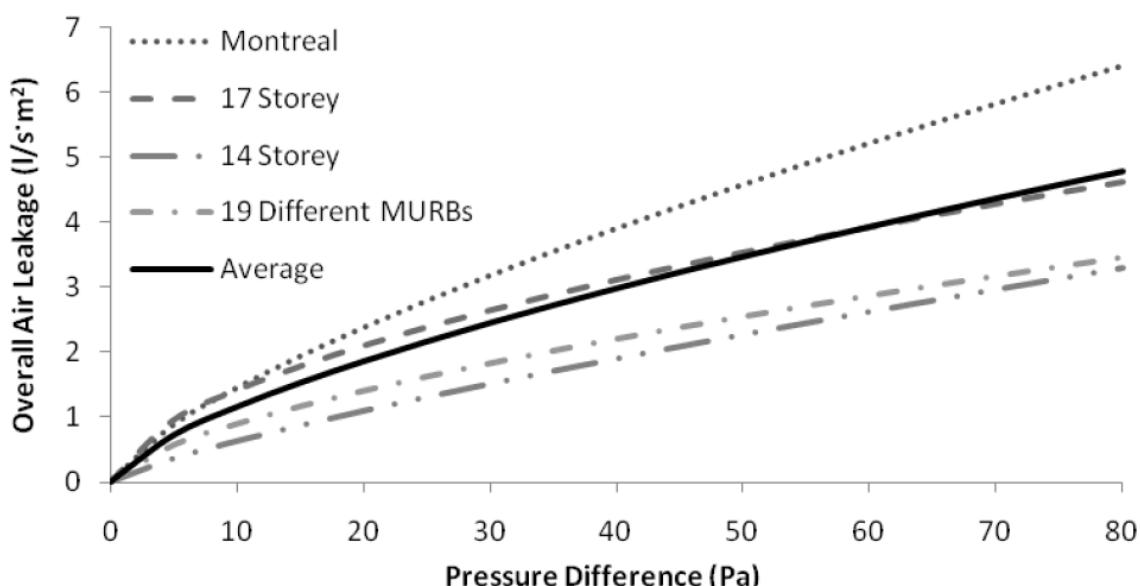


Figure 15: Valeurs d'infiltration par façade à Canada [1]

Les valeurs moyennes varient donc de 1,5 à 5,5 l/s m² dans le cas de 50 Pa. Les valeurs sont plus faibles que dans le cas précédent, mais pas de manière significative.

Une dernière source d'information, avec des bâtiments divisés par millésimes, est [3] Les graphiques de 1, qui se concentrent uniquement sur les IRLM de l'étude, montrent ce qui suit :

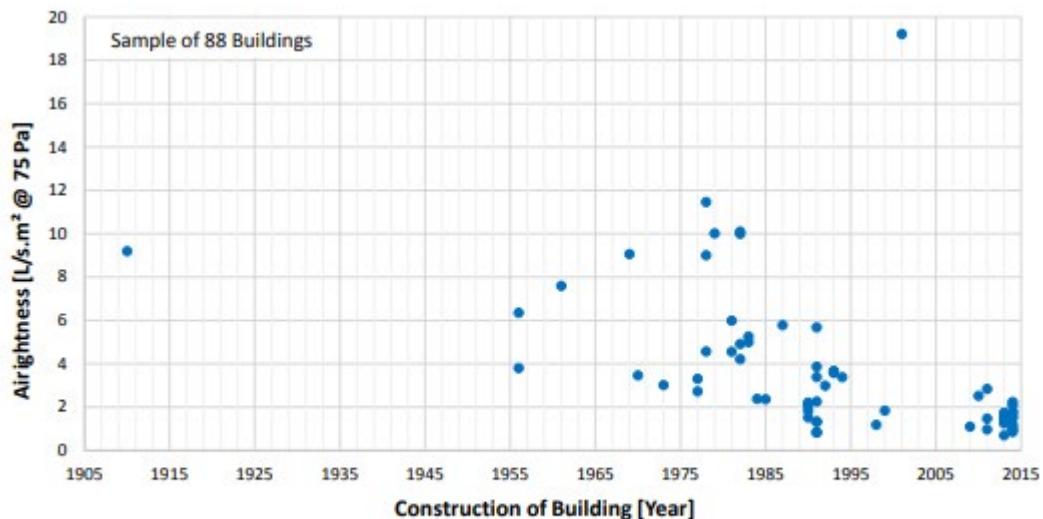


Figure 3.22: Airtightness of multi-unit residential buildings vs year of construction

Figure 16: Valeurs d'infiltration per façade à Canada [3]

4.2.6.2 Proposition finale

Les valeurs, dans ce cas, oscillent entre 1 l/s m² dans le cas des bâtiments les plus récents et 9 l/sm² dans le cas des bâtiments plus anciens (mais à 75 Pa). Converties en valeurs à 50 Pa, nous voyons que les valeurs oscillent entre 0,76 et 6,92 à 75 Pa, ce qui est également très conforme aux données. Dans ce cas, les différentes valeurs ont des métadonnées concrètes pour le millésime du bâtiment. Sur la base de ces valeurs, nous avons proposé les valeurs d'infiltration suivantes en fonction du millésime des bâtiments.

Tableau 14: Proposition de valeurs d'infiltration implémentés dans les modèles OSM

Vintage	Infiltration (l/s m ² at 75 Pa)
Pre-1950	6
1950-1980	5
1980-2010	3
2011-2020	1.5
>2020	0.5

Pour raffiner les résultats, nous avons utilisé le modèle d'infiltration NIST, soutenus par les travaux publiés par Ng et al. [6] et [7]. Cette méthode de calcul de l'infiltration a été développée en utilisant onze des modèles de bâtiments prototypes commerciaux du DOE et les fichiers météorologiques TMY3 pour huit zones climatiques.

Ce modèle a été implanté avec une mesure.

4.3 Données pour l'usage dans les archétypes

4.3.1 Consommation électrique des appartements

Les données OPE-IMA-METEO d'Hydro-Québec avec plus de 70.000 identifiants ont été utilisées pour évaluer les profils de consommation d'électricité. Pour les profils d'utilisation, nous avons utilisé les données sur les charges de prises des 70 000 consommations et les avons filtrées selon les critères suivants:

- Usage bâtiment = appartement (11220 identifiants)
- Pour éliminer l'impact de la Consommation d'Eau Chaude Sanitaire, nous avons éliminé, pour les charges enfichables, celles dont l'ECS fonctionne à l'électricité (2559).
- Nous avons également éliminé ceux qui utilisent l'air conditionné et les véhicules électriques (779). Pour obtenir uniquement la consommation pendant les heures où aucun chauffage ou refroidissement n'est nécessaire, nous avons éliminé toutes les heures où la température de l'air extérieur est inférieure à 15 degrés et supérieure à 23 degrés Celsius.
- Avec ces valeurs, nous obtenons la moyenne entre les surfaces des différents ensembles de données, mais nous supposons que, dans ce cas, la moyenne sera adéquate. Nous convertirons les profils en profils individuels (pourcentage), et nous établirons la valeur maximale avec un métrage moyen de l'ensemble de données de l'appartement. Nous avons calculé le profil horaire pour ces 779 cas, et nous obtenons Figure 17 .

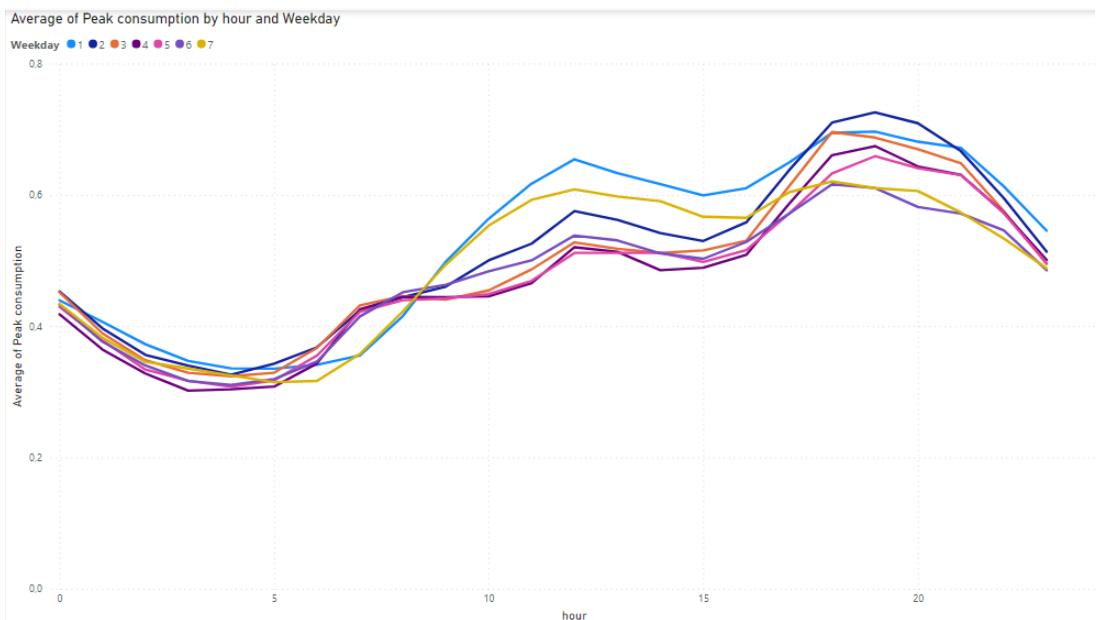


Figure 17: Profils horaires de consommation des appareils électriques, illumination et autres consommations (ventilateurs)

Afin de décider du nombre de profils à utiliser, nous avons effectué une analyse de corrélation de Pearson sur cet ensemble de données. Nous constatons qu'il existe quatre groupes principaux d'ensembles de données qui sont directement corrélés.

Tableau 15: Corrélation de Pearson pour détecter le numéro de profils nécessaires

Pearson coefficient for plug loads	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Lundi	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.91	0.95
Mardi	0.99	1.00	1.00	0.99	0.97	0.87	0.92
Mercredi	0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	0.87	0.92
Jeudi	0.99	0.99	1.00	1.00	0.98	0.88	0.93
Vendredi	0.98	0.97	0.97	0.98	1.00	0.95	0.96
Samedi	0.91	0.87	0.87	0.88	0.95	1.00	0.98
Dimanche	0.95	0.92	0.92	0.93	0.96	0.98	1.00

Au final, nous intégrerons les valeurs suivantes aux modèles.

Tableau 16: Profils horaires pour incorporer à OpenStudio

Heure	Valeurs absolus				Valeurs relatives			
	Lun-Jeu	Vendredi	Samedi	Dimanche	Lun-Jeu	Vendredi	Samedi	Dimanche
0	0.43	0.43	0.43	0.44	0.63	0.62	0.62	0.63
1	0.38	0.37	0.38	0.40	0.55	0.54	0.55	0.58
2	0.34	0.34	0.34	0.37	0.49	0.49	0.50	0.53
3	0.32	0.31	0.33	0.34	0.46	0.45	0.48	0.50
4	0.31	0.31	0.32	0.33	0.45	0.44	0.47	0.48
5	0.32	0.32	0.31	0.33	0.47	0.46	0.45	0.48
6	0.36	0.34	0.31	0.34	0.51	0.50	0.45	0.49
7	0.42	0.41	0.36	0.35	0.61	0.60	0.51	0.51
8	0.44	0.45	0.42	0.41	0.64	0.65	0.61	0.60
9	0.44	0.46	0.49	0.50	0.64	0.67	0.71	0.72
10	0.46	0.48	0.55	0.56	0.66	0.70	0.80	0.81
11	0.49	0.50	0.59	0.61	0.70	0.72	0.85	0.89
12	0.53	0.54	0.61	0.65	0.77	0.77	0.88	0.94
13	0.52	0.53	0.60	0.63	0.76	0.76	0.86	0.91
14	0.51	0.51	0.59	0.61	0.74	0.74	0.85	0.89
15	0.51	0.50	0.56	0.60	0.73	0.72	0.81	0.86
16	0.53	0.53	0.56	0.61	0.76	0.76	0.81	0.88
17	0.60	0.57	0.60	0.65	0.86	0.82	0.87	0.93
18	0.67	0.61	0.62	0.69	0.97	0.88	0.89	1.00
19	0.68	0.61	0.61	0.69	0.98	0.87	0.88	1.00
20	0.66	0.58	0.60	0.68	0.96	0.83	0.87	0.98
21	0.64	0.57	0.57	0.67	0.92	0.82	0.82	0.96
22	0.57	0.54	0.53	0.61	0.83	0.78	0.77	0.88
23	0.50	0.48	0.49	0.54	0.72	0.70	0.70	0.78

La valeur absolue de pointe de consommation sera de 0.69 kW per appartement. Si nous nous referons a une taille moyenne par appartement (références) de 83 m2, la valeur en W/m2 va être de 8.3 W/m2, entre consommation d'illumination et de prises.

4.3.2 Profils de présence

Nous avons utilisé les profils du NECB, exactement le profil G, en semaine et la fin de semaine.

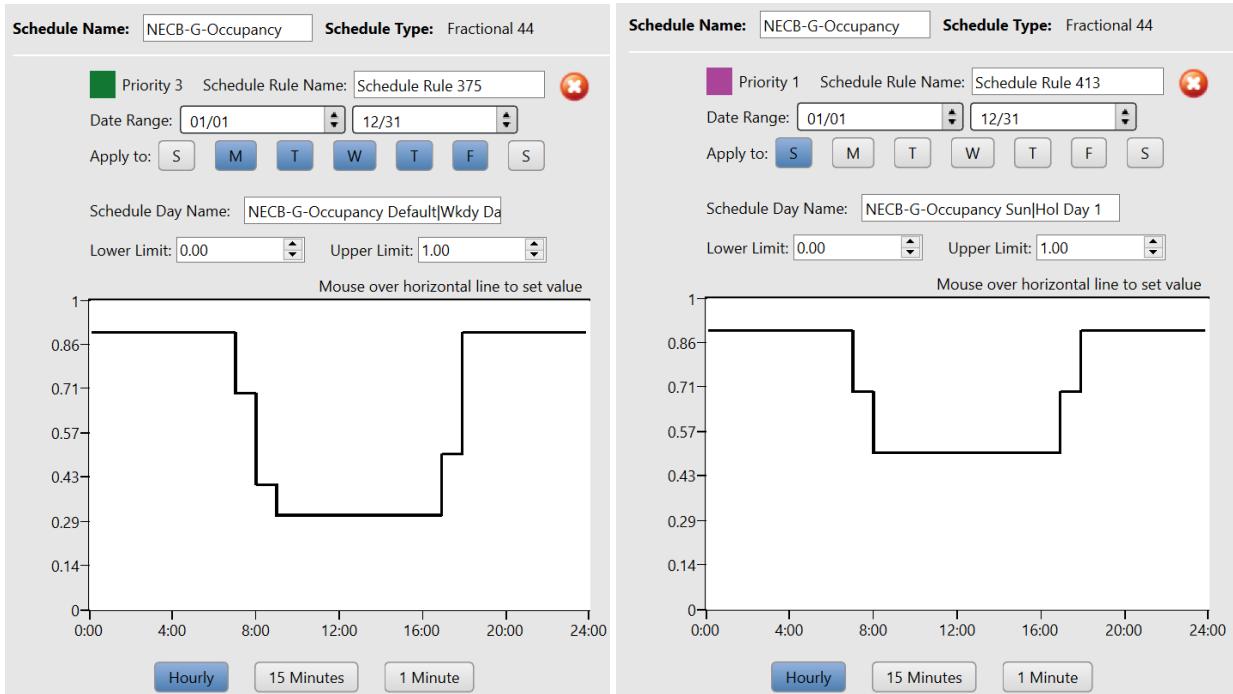


Figure 18: Profils de présence à la maison

4.3.3 Profils de température

Nous allons aussi utiliser les profils de température du NECB pour évaluer les consommations des bâtiments.

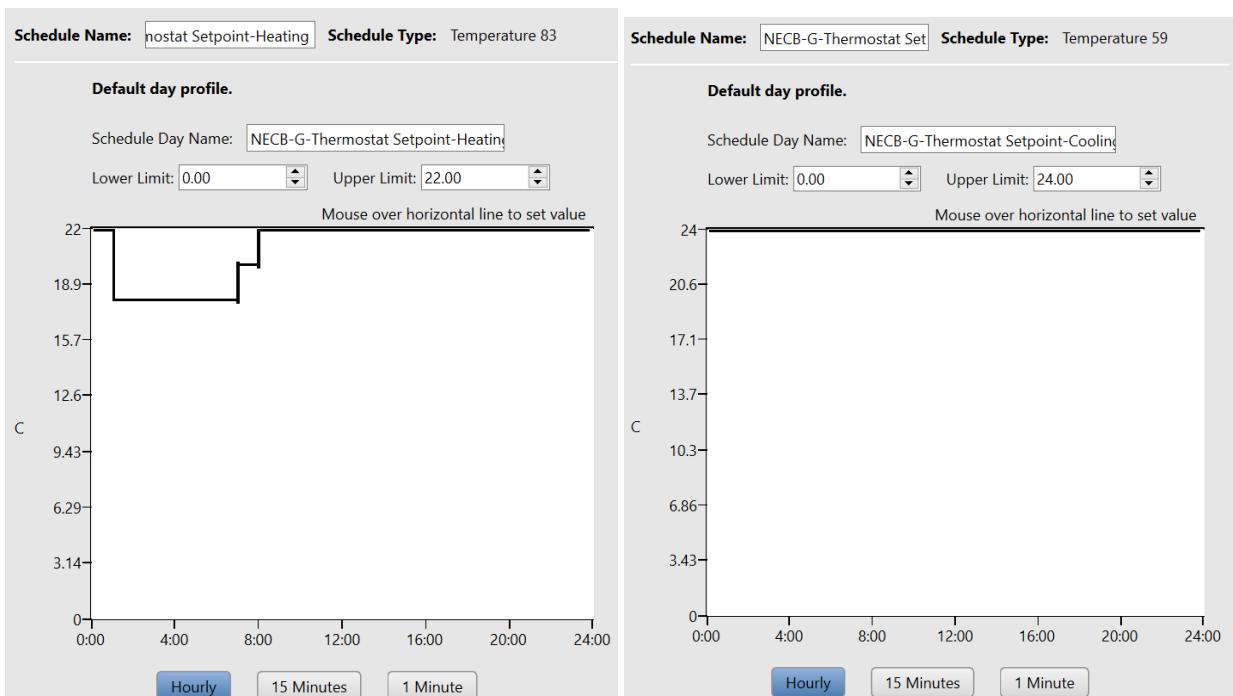


Figure 19: Profils de température de consigne, suivant le NECB profil G

4.3.4 Opération des fenêtres (ventilation naturelle)

Nous allons utiliser aussi un profil d'ouverture des fenêtres des appartements, pour mieux représenter la situation en été. Le modèle utilisé consistera en appliquer un pourcentage d'ouverture des fenêtres en fonction de la température intérieure et extérieure.

Cette mesure ajoute des objets de ventilation à chaque zone pour chaque fenêtre d'une construction de fenêtre ouvrante spécifiée. Le débit d'air est la somme élevée au carré du débit d'air induit par le vent et du débit d'air induit par l'effet de cheminée.

Cette mesure considère que la différence de hauteur est égale à un quart de la hauteur de la fenêtre et, en tant que telle, n'est destinée qu'à modéliser la ventilation naturelle dans des zones uniques où quelques grandes fenêtres ou portes ouvrantes à battants représentent la majorité de la surface ouvrable.

Nous avons réduit la ventilation en hiver, et ajoute ventilation additionnelle en été. Nous avons créé un profil en hiver d'ouverture des fenêtres seulement pendant la journée, et en été, un profil d'ouverture de fenêtres surtout soir et nuit. Nous considérons que l'ouverture de fenêtres est, au maximum un 70% de sa surface, mais la plupart des moments (hiver) est inférieure du 25%.

Le control protège des situations suivantes :

- Si la température intérieure est de moins de 21 degrés Celsius, la ventilation naturelle ne marche pas
- Si la température intérieure est 3 degrés de moins que l'extérieure, la ventilation naturelle ne marche pas
- Si la température intérieure est de plus de 30 degrés Celsius, la ventilation naturelle ne marche pas
- Si la température extérieure est de moins de 18°C, elle ne marche pas.

4.3.5 Eau chaude sanitaire

4.3.5.1 Option A : Données Hydro Québec

L'eau chaude sanitaire a été aussi incorporé grâce aux données disponibles des 70.000 consommateurs d'Hydro Québec. La façon de trouver les valeurs d'eau chaude sanitaire a été de soustraire la moyenne de consommation d'eau chaude des consommateurs qui utilisent des systèmes de chauffage d'eau électrique des systèmes qui ne les utilisent pas.

Même si le calcul devrait aussi être valide en hiver, nous avons trouvé des variations assez extrêmes entre consommation d'été et d'hiver. Ainsi, nous avons filtré les mois d'août et septembre, évitant l'effet de juillet (vacances) et en plus, ce sont deux mois avec des températures d'eau froide assez semblables.

A niveau de puissance demandé en moyenne, nous voyons les valeurs suivantes :

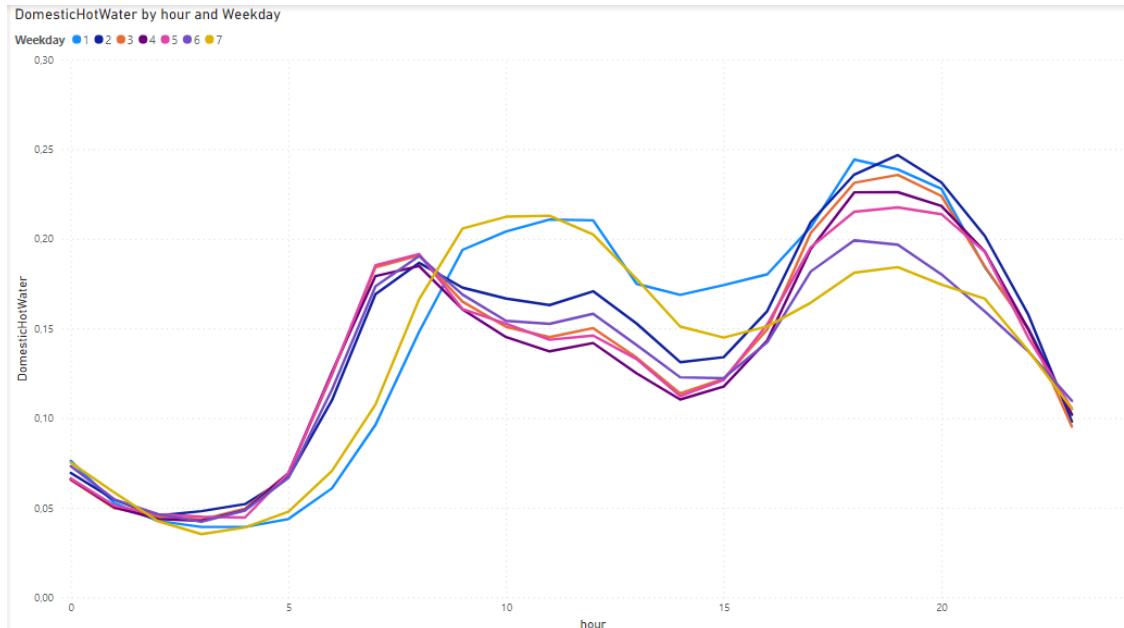


Figure 20: Profils d'eau chaude sanitaire

Tableau 17: Profils d'eau chaude sanitaire

Heure	Valeurs absoluts			Valeurs relatives		
	Lun-Jeu	Vendredi	Fin de semaine	Lun-Jeu	Vendredi	Fin de semaine
0.00	0.07	0.08	0.08	0.28	0.31	0.31
1.00	0.05	0.06	0.05	0.21	0.24	0.22
2.00	0.05	0.04	0.04	0.19	0.17	0.17
3.00	0.04	0.04	0.04	0.18	0.14	0.16
4.00	0.05	0.04	0.04	0.20	0.16	0.16
5.00	0.07	0.05	0.04	0.28	0.20	0.18
6.00	0.12	0.07	0.06	0.49	0.29	0.25
7.00	0.18	0.11	0.10	0.73	0.44	0.39
8.00	0.19	0.17	0.15	0.77	0.68	0.61
9.00	0.17	0.21	0.19	0.68	0.84	0.79
10.00	0.15	0.21	0.20	0.63	0.87	0.84
11.00	0.15	0.21	0.21	0.61	0.87	0.86
12.00	0.15	0.20	0.21	0.63	0.83	0.86
13.00	0.14	0.18	0.17	0.56	0.73	0.72
14.00	0.12	0.15	0.17	0.48	0.62	0.69
15.00	0.12	0.14	0.17	0.51	0.59	0.71
16.00	0.15	0.15	0.18	0.61	0.62	0.74
17.00	0.20	0.16	0.21	0.81	0.67	0.85
18.00	0.22	0.18	0.24	0.91	0.74	1.00
19.00	0.22	0.18	0.24	0.92	0.75	0.98
20.00	0.21	0.17	0.23	0.87	0.71	0.93
21.00	0.19	0.17	0.18	0.76	0.68	0.75

22.00	0.15	0.14	0.15	0.60	0.56	0.61
23.00	0.10	0.11	0.10	0.42	0.43	0.42

La pointe de demande, selon ce profil, sera de 8.5 l/h à 45°C (5.16 l/h à 60°C), et une moyenne par jour par appartement de 130 l/apartement. C'est une valeur réduite, mais comme c'est la moyenne d'une grande quantité d'agents, c'est une certaine verosimilitude. Néanmoins, c'est différent des valeurs des profils du NECB, et donc, nous allons aussi les inclure dans les modèles, pour valider les deux hypothèses.

4.3.5.2 Option B : Profils NECB G

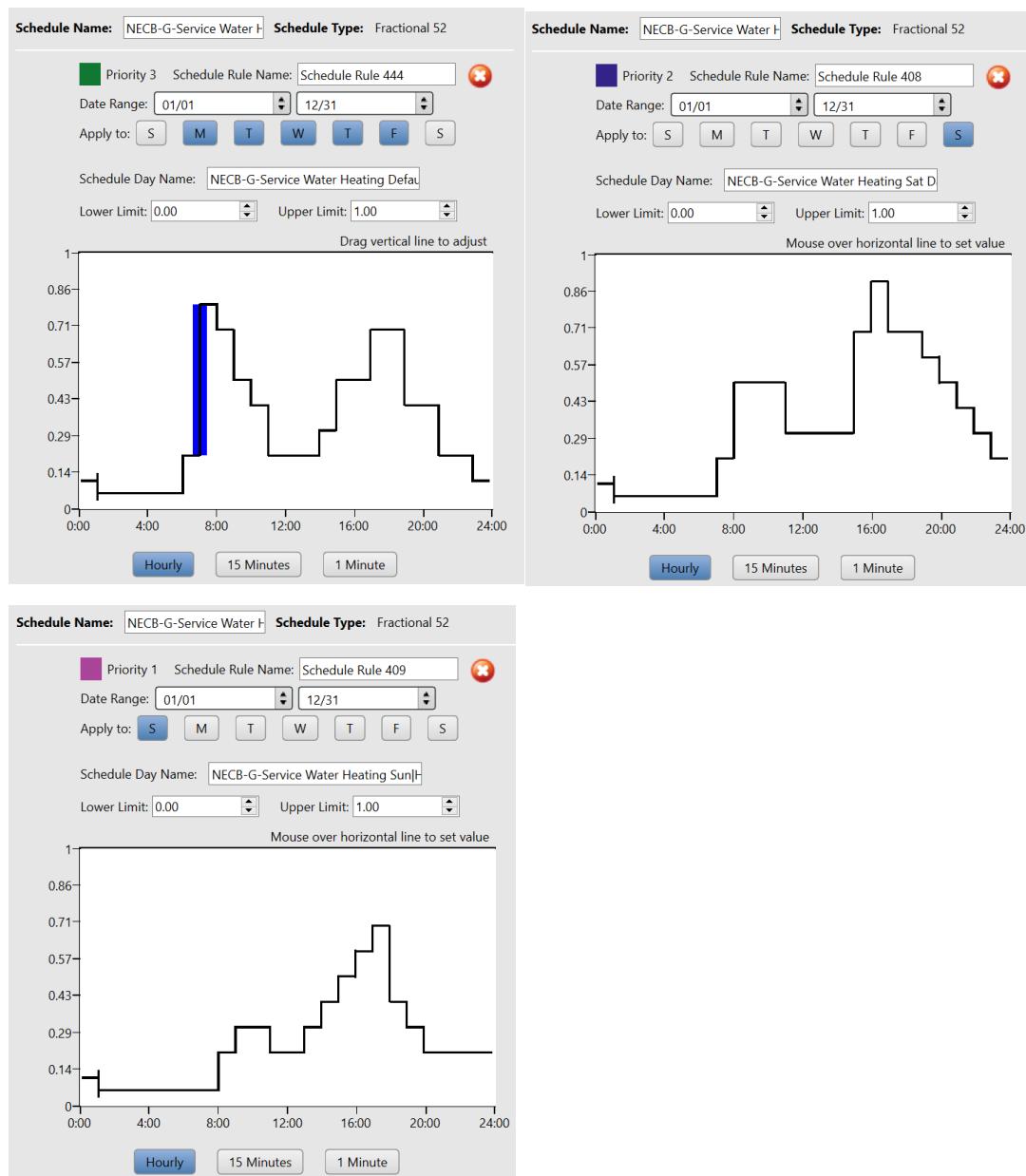


Figure 21: Profils d'eau chaude sanitaire NECB

Ici, la valeur de pointe est plus proche à 14 l/h. Néanmoins, nous voyons que la pointe n'arrive jamais à 1, et donc, la valeur maximale est plus proche à 12.6 l/h, dans ce cas à 60°C.

À niveau total, le profil G a une valeur, totale de consommation par jour par appartement de 105.7 l/jour à 60°C, équivalent, en été, à 169 l par jour à 45°C.

4.4 Systèmes CVCA

4.4.1 Ventilation

Pour les bâtiments construits avant 2011, nous considérons que la ventilation naturelle sera utilisée pour renouveler l'air des différentes zones, et qu'aucune ventilation par ventilateur ne sera mise en œuvre.

Pour la rénovation de l'air dans les bâtiments construits après 2011, nous proposons une rénovation de l'air de 0,7 l/s m² de surface d'appartement (réglementation de référence). Dans ce cas, nous avons ajouté l'extraction d'air dans toutes les zones.

Dans le cas de 2011-2020, l'efficacité de la VRC était de 0,45. A partir de 2020, nous avons donné une valeur de 0,6. Dans le cas des bâtiments plus anciens, le système de fenêtres ouvrantes servira de système de rénovation de l'air.

L'extraction d'air des cuisines (non récupérable) n'a pas été incorporée car elle ne se produit que dans des moments très concrets.

Dans tous les cas, la consommation électrique des ventilateurs a été réduite à presque zéro, étant donné que les valeurs du profil de consommation intègrent déjà leur valeur.

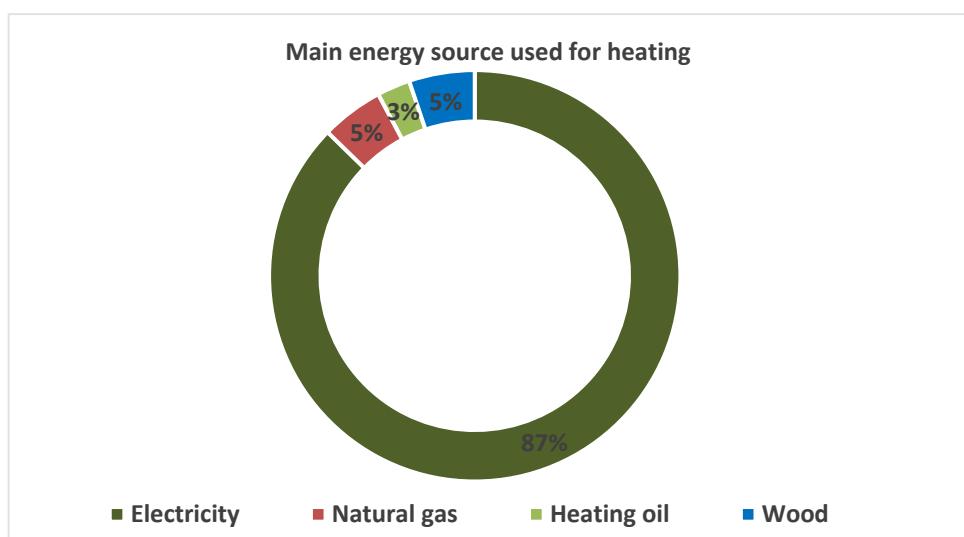
4.4.2 Systèmes CVC

Les systèmes CVC représentent la part la plus importante de la consommation totale d'énergie dans les bâtiments. Par conséquent, il est essentiel d'identifier les archétypes de systèmes énergétiques des bâtiments parallèlement à la création d'archétypes de bâtiments afin d'élaborer des modèles énergétiques plus précis des bâtiments. La principale source de données pour obtenir des informations sur le type de systèmes énergétiques utilisés dans les bâtiments au Québec est l'Enquête sur l'utilisation de l'énergie par les ménages (EUÉM) de 2015. Les tableaux de données de l'EUÉM-2015 sur l'utilisation de l'énergie par les ménages dans les régions métropolitaines de recensement se composent de cinq sections clés, couvrant :

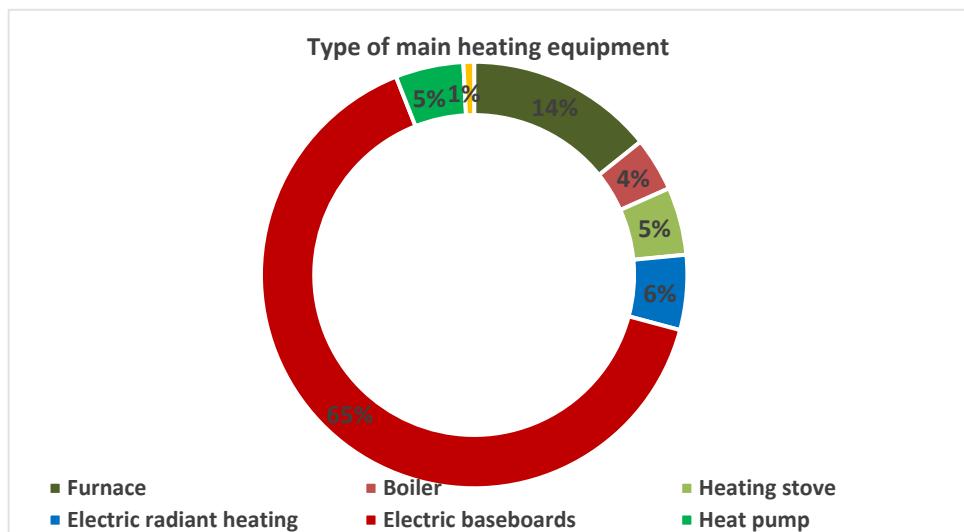
1. Caractéristiques des ménages
2. Attributs du logement
3. Caractéristiques de la rénovation du logement
4. Systèmes de chauffage et de refroidissement résidentiels
5. Consommation d'énergie et efficacité énergétique

L'ensemble des données est utilisé pour extraire des informations sur le type, la configuration et le combustible des systèmes utilisés pour répondre aux besoins de chauffage, de refroidissement et d'eau chaude sanitaire. Les graphiques suivants montrent les résultats de l'analyse. Il convient de noter que dans l'enquête, les personnes interrogées étaient autorisées à déclarer qu'elles ne connaissaient pas la réponse ou qu'elles n'en étaient pas certaines. Cependant, lors de la préparation des graphiques et de l'analyse des données, seules certaines réponses ont été prises en compte. En outre, les fractions fournies représentent tous les types de bâtiments et ne se limitent pas aux appartements de faible ou de grande hauteur.

La Figure 22 montre les principales sources et les principaux systèmes utilisés pour répondre à la demande de chauffage dans les bâtiments du Québec, sans faire aucune distinction entre bâtiments unifamiliaux ou multirésidentiels. Comme le montre la figure, l'électricité est la principale source d'énergie utilisée pour le chauffage au Québec. Comme on pouvait s'y attendre, les plinthes électriques sont les appareils de chauffage les plus utilisés dans la province. De plus, le gaz naturel est un autre combustible populaire utilisé dans la province pour faire fonctionner les appareils de chauffage et les chaudières, principalement dans les immeubles d'habitation de faible et de grande hauteur.



(a)



(b)

Figure 22: The main sources and equipment used for heating in Quebec buildings

En ce qui concerne la climatisation des bâtiments, comme le montre la Figure 23, la majorité des participants qui avaient un système de climatisation à leur domicile utilisaient des systèmes de fenêtre, ce qui indique que le système de climatisation dans les bâtiments du Québec est principalement décentralisé.

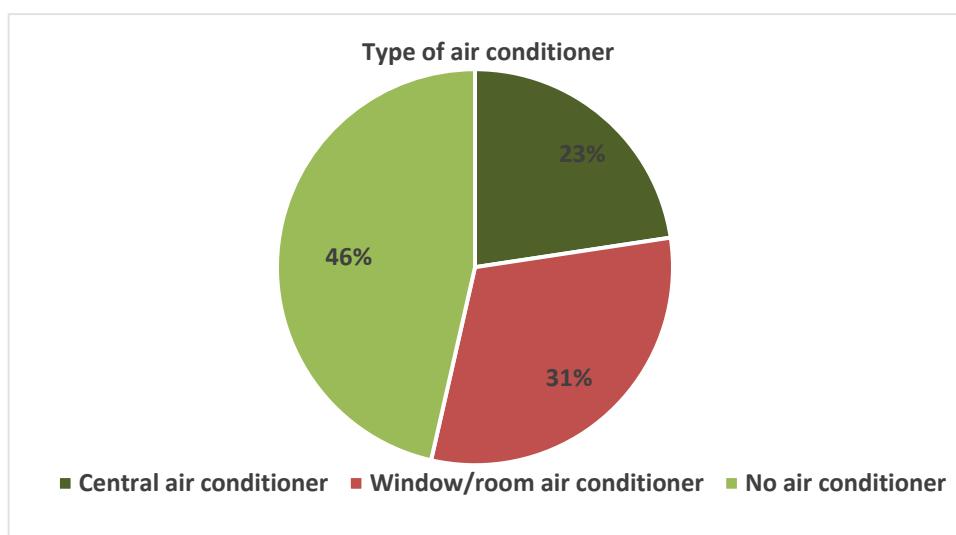


Figure 23: Types of air conditioning systems used in Quebec buildings

Enfin, pour répondre à la demande d'eau chaude domestique, les ménages québécois utilisent des réservoirs d'eau chaude standard, principalement alimentés à l'électricité ou au gaz naturel. La Figure 24 montre le pourcentage des ménages qui utilisent des chauffe-eaux électriques ou au gaz naturel au Québec.

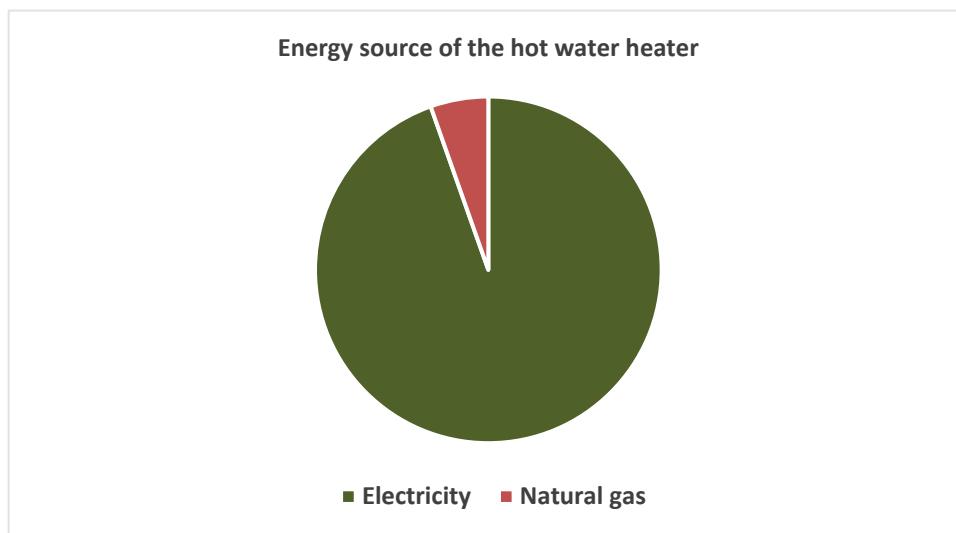


Figure 24: Type of fuel used for heating water

Néanmoins, pour mieux comprendre la séparation entre systèmes qui utilisent l'électricité comme source principale et le type de bâtiments, nous avons fait un analyse pour comparer, à l'échelle de FSA les pourcentages de bâtiments multi logement (avec les données censales) et le pourcentage d'énergie finale dans le secteur résidentiel qui vient du gaz et de l'électricité (données HQ et Energir).

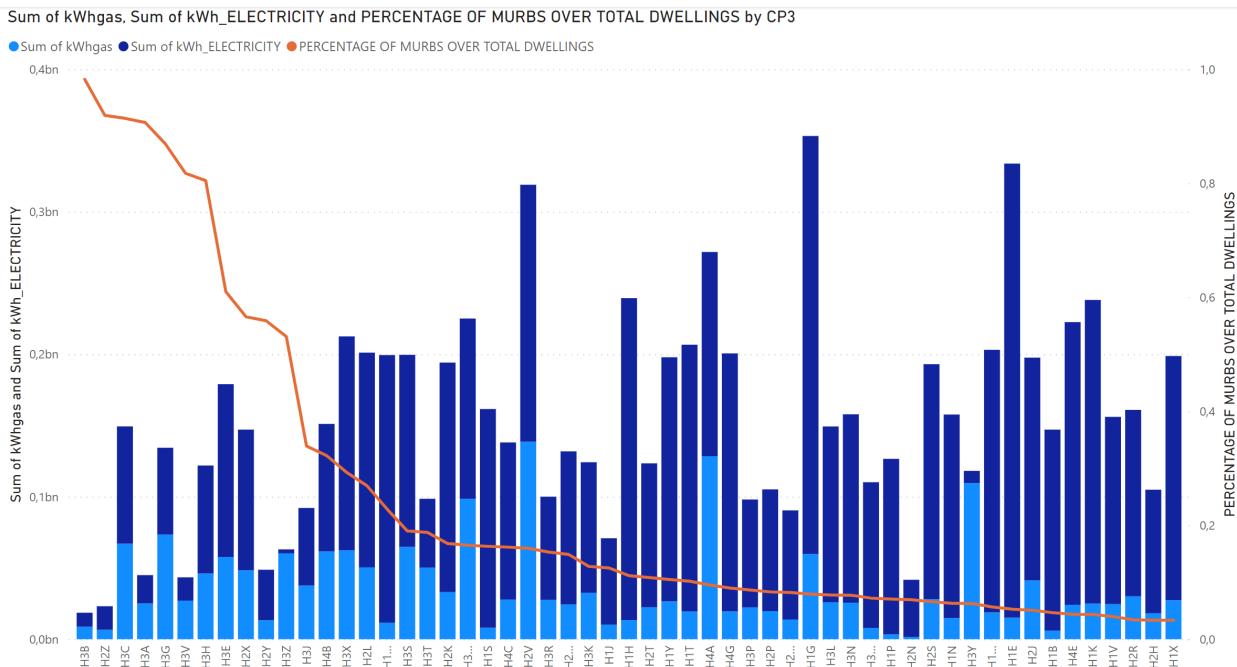


Figure 25: Pourcentage de MURBs par quartier (FSA) et ratio électricité-gaz naturel

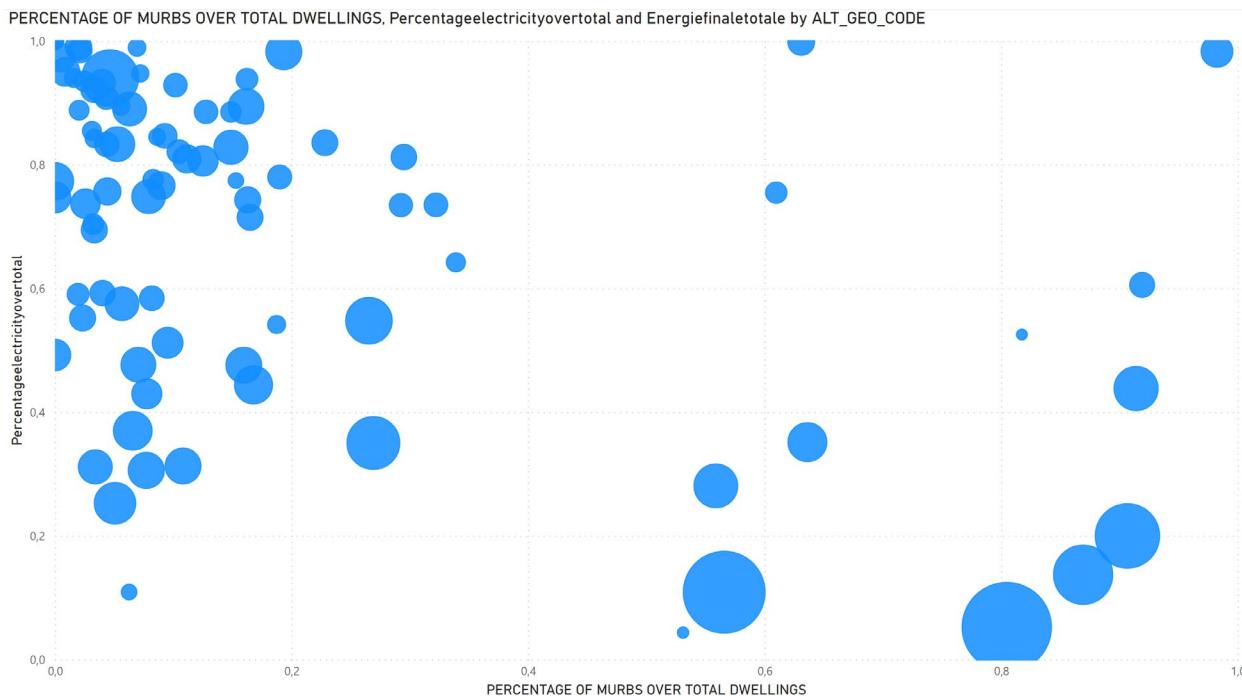


Figure 26: Scatterplot comparant pourcentage d'électricité sur le total et le pourcentage de MURBs sur le total de logements. La taille des boules est la consommation d'énergie finale totale.

Le graph précédent compare le pourcentage de bâtiments multi logement et le pourcentage du total de l'énergie que vient de l'électricité. La taille des boules c'est la valeur totale de consommation. Même si il n'y a pas une tendance claire, c'est évident que, dans les FSA avec plus de logements multi résidentiels, le gaz a un rôle assez plus important.

4.4.3 Proposition finale d'archétypes

Après une évaluation minutieuse de l'ensemble de données de l'EUÉM 2015, et le constat de l'importance du rôle du gaz (au moins à Montréal) dans les secteurs avec plus de les 4 archétypes de systèmes énergétiques suivants ont été proposés. Comme l'a suggéré l'EUÉM 2015, le système de climatisation est principalement décentralisé, c'est pourquoi 3 des archétypes prennent en compte un système de climatisation décentralisé. En ce qui concerne le système de chauffage, pour mieux représenter la variété des systèmes et des combustibles, 3 types de systèmes différents sont proposés : la moitié des archétypes ont des plinthes électriques décentralisées, et les 2 autres ont des systèmes centraux qui utilisent soit de l'électricité, soit du gaz naturel. Le tableau suivant résume les archétypes de systèmes énergétiques proposés dans ce travail.

Tableau 18: Archétypes proposés

	Système refroidissement	de	Système de chauffage	ECS
Archétype 1	Système CA unitaire		Plinthe électrique	Chauss-eau électrique décentralisé
Archétype 2	Système CA unitaire		Chaudière à gaz centrale	
Archétype 3	Système CA unitaire		Plinthe électrique	Chaudière à gaz centrale
Archétype 4	Mural heat pump with baseboard support			Chauss-eau électrique décentralisé

4.5 Modèle final pour les résultats

4.5.1 Crédation automatisée de modèles avec grasshopper

Les centroïdes sélectionnés pour la modélisation ont été rationalisés directement à partir des fichiers GeoJSON exportés des couches géospatiales. Une imitation du nombre d'unités de chaque bâtiment a été utilisée pour développer le zonage interne des modèles. Le logiciel Grasshopper pour Rhinoceros a été utilisé pour le scripting visuel avec une superposition des plugins EnergyPlus et OpenStudio. La sortie des modèles a été exportée vers les versions de lecture d'OpenStudio (.OSM) pour les étapes suivantes.

Une fois que les bâtiments ont été finalisés à partir du cluster, un flux de travail automatisé a été adopté pour créer le modèle énergétique du bâtiment à partir des fichiers de forme. Le flux de travail repose sur le logiciel de modélisation 3D Rhino et le plugin de programmation visuelle Grasshopper. Le tableau ci-dessous répertorie chaque plugin utilisé pour l'étude.:

Tableau 19: Archétypes proposés

Software	Utilisation
Rhino	Modélisation 3D pour ajouter l'empreinte au sol/le zonage interne
Grasshopper	Créer un flux de travail automatisé
ShrimpGIS	Permettre l'utilisation de l'empreinte du bâtiment GeoJSON
Ladybug Tools	Créer le modèle énergétique analytique
OpenStudio	Créer des systèmes CVC

Étapes suivies : Voici les étapes de la création des modèles énergétiques pour l'étude :

1. Définition des propriétés du bâtiment :
 - a. Sélection du cluster : Le groupe de bâtiments approprié est sélectionné

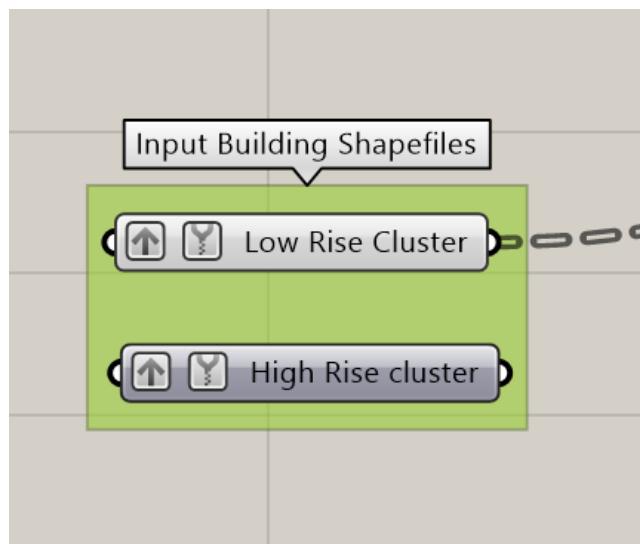


Figure 27 : Étape a

b. La hauteur du bâtiment, le zonage intérieur et la hauteur d'étage à étage sont définis :

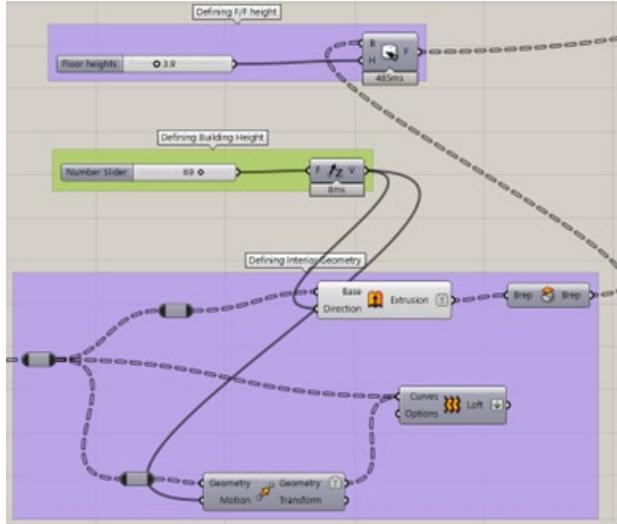


Figure 28 : Étape b

c. Les charges externes et internes sont définies pour le bâtiment :

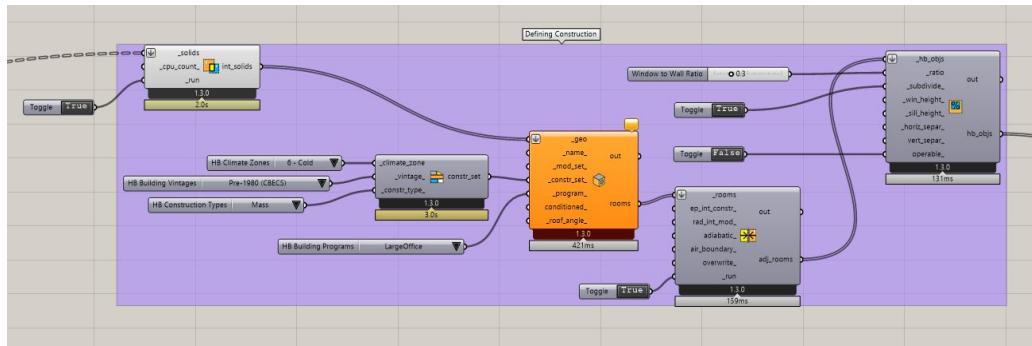


Figure 29 : Étape c

d. Enfin, le modèle est transféré à OSM pour définir plus précisément les systèmes de construction et de chauffage, de ventilation et de climatisation.

Les deux modèles géométriques ont été divisé en unités grandes et moyennes, pour mieux représenter la réalité québécoise, avec des espaces intermédiaires.

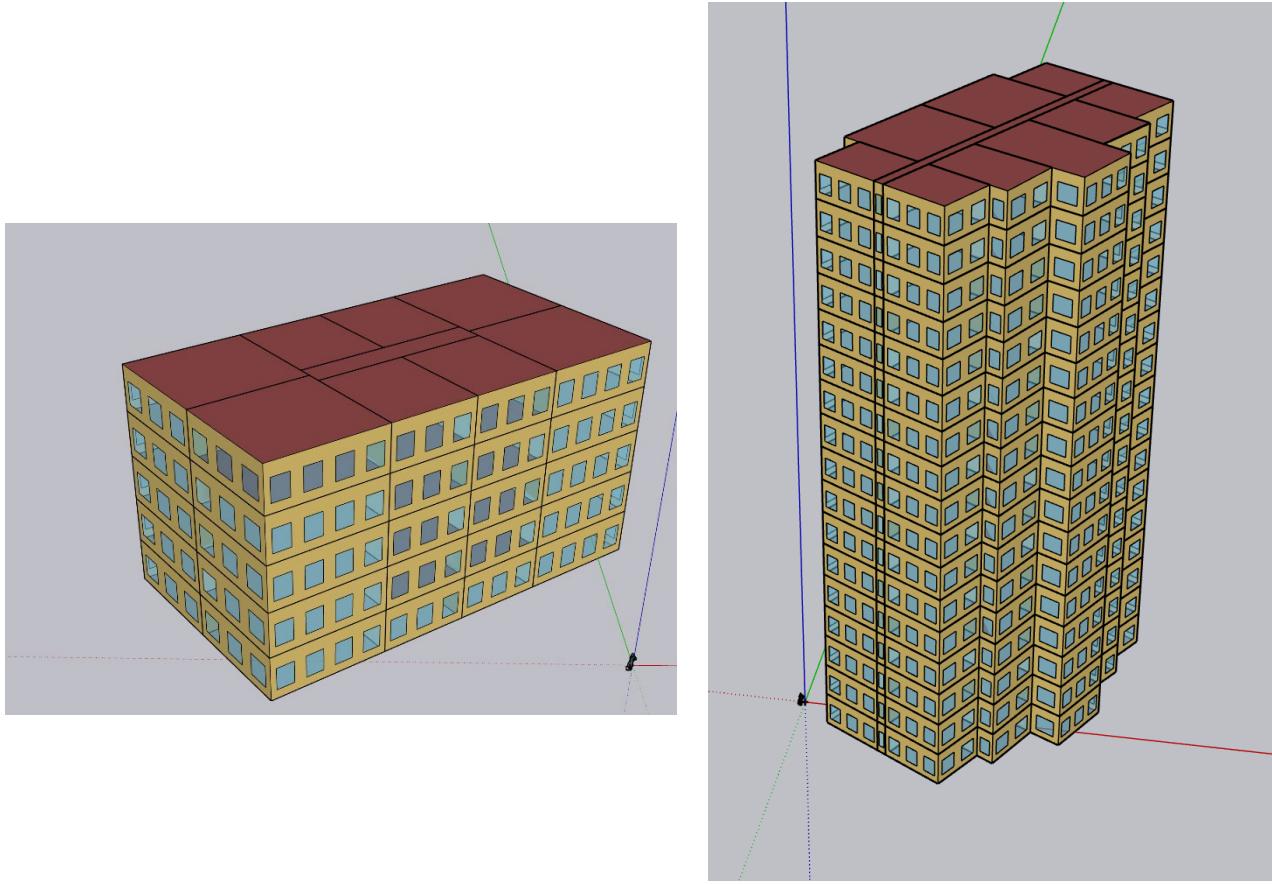


Figure 30 : Bâtiment moyenne hauteur et grande hauteur, avec les divisions d'appartements

4.5.2 Résumé hypothèses

Bâtiment proposé
<p>Logiciel de modélisation : la modélisation du bâtiment proposé a été complétée avec le DOE2.1e (version Ec133) et le logiciel EE4 a été utilisé pour environ 95 % du bâtiment initial proposé. Toute la modélisation du bâtiment de référence a été effectuée à l'aide du logiciel EE4.</p> <p>Horaires : les horaires de fonctionnement sont les mêmes pour le bâtiment proposé et le bâtiment de référence et sont les horaires 'A' établis par défaut par le CMNÉB, ce qui représente assez bien ce à quoi l'on s'attend pour un petit immeuble de bureaux.</p> <p>Classement des usages des espaces : par fonction des espaces</p> <p>Principale source de chauffage : selon le supplément au CMNÉB, la « thermopompe » est la principale source de chauffage.</p> <p>Aide de plancher conditionnée : 10 837 pi ca (1007 m²)</p>
Enveloppe du bâtiment
<p>Murs extérieurs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selon le Tableau 9 <p>Toit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selon le Tableau 9 <p>Vitrage</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Aire de fenétrage d'un 30% par façade, modifiable par une mesure.</i> • Selon le Tableau 9 • <i>Selon 5.3.5.5, du supplément au code, le coefficient d'ombrage des fenêtres est réduit de 80 % pour tenir compte de l'ombrage intérieur, de la poussière, etc.</i> • <i>Aucun surplomb ni projection latéraux; auto- ombrage comme pour le bâtiment proposé (même si EE4 ne le prévoit pas).</i> <p>Infiltration</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Selon Tableau 14.</i> <p>Eclairage et consommation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densité d'éclairage, équipes électriques et autres (ventilateurs) selon profil filtré par les données d'Hydro Québec. Tableau 16 <p>Eau chaude</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densité et profil selon profils Hydro-Québec traités Tableau 17 <p>Matériel de CVCA</p> <p>Système</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systèmes 1 à 4 selon Tableau 18. <p>Air d'alimentation et de ventilation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Air d'alimentation pour les appartements de 2011 en avant. • Niveau d'air extérieur minimum identique à celui du bâtiment proposé. Incorporation de la récupération de chaleur à travers la réduction de la rénovation d'air. <p>Contrôle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réglage du chauffage aux valeurs par défaut du CMNÉB : 22° / 18 °C pour les zones desservies par le chauffage radiant; réglages et horaire identiques à ceux du bâtiment proposé pour les autres zones. • Réglage de la climatisation, températures programmées et horaires identiques à ceux du bâtiment proposé. • Économiseur à enthalpie pour les zones refroidies mécaniquement. • Aucune alimentation en air extérieur programmée dans les zones qui n'en ont pas besoin lorsqu'elles sont inoccupées. • Température minimum de l'air d'alimentation à 55 °F, basée sur la régulation dans les zones plus chaudes. • Aucune ventilation à la demande. <p>Ventilation naturelle</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Ventilation naturelle selon définie à 5.3.4</i> <p>Eau chaude domestique</p> <p>Système de chauffage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selon défini au Tableau 18 <p>Systèmes d'énergie renouvelable</p> <p>Aucune énergie renouvelable ne s'applique</p>

4.5.3 Création de sets constructifs

Comme décrit antérieurement, nous avons créé des sets de construction. Les sets de construction définis dans la bibliothèque du projet sont : les suivants : Pre-1950 , 1950-1980, 1980-2010, 2011-2020, >2020, pour la zone 6A et pour la zone 7A.

4.5.4 Création de systèmes CVC

Dans la Section 3.5.2, nous avons détaillé des systèmes spécifiques qui ont été ajoutés aux fichiers .OSM. Le système principal associe un climatiseur unitaire pour le refroidissement et un radiateur électrique de base pour le chauffage. De plus, un chauffe-eau électrique décentralisé est utilisé pour les besoins en eau chaude domestique. Comme illustré dans la Figure X, au sein d'Open Studio, les systèmes de climatisation unitaires ont été modélisés en utilisant un bobinage de refroidissement DX à vitesse variable, présentant deux vitesses, un ventilateur à vitesse variable, et un gestionnaire de consigne de refroidissement côté alimentation. Il est important de noter que le ventilateur a été configuré avec une augmentation de pression de 40 Pa et une efficacité de 60%. Chaque zone a ensuite été dotée de cette configuration système.

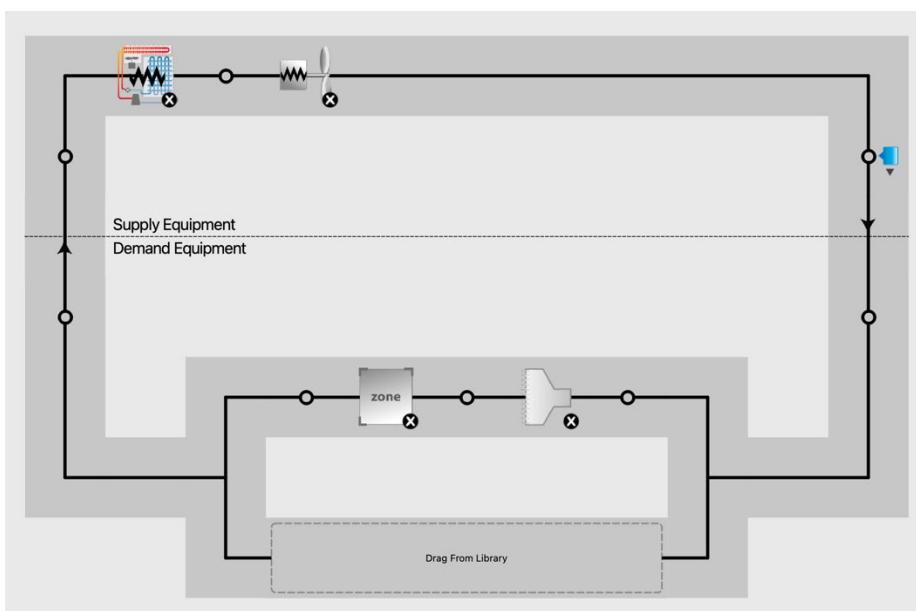


Figure 31: Système de climatisation unitaire dans Open Studio

Concernant la conception de l'eau chaude domestique, la différence entre tous les archétypes réside dans le type de carburant (électrique ou gaz naturel) et la capacité du chauffe-eau. Dans le système décentralisé, la capacité est fixée à 1 m³ par étage, tandis que pour les systèmes centraux, elle est égale à la somme du nombre d'étages. Le calendrier de consommation pour l'eau chaude domestique a été ajusté pour correspondre au calendrier obtenu dans la Section 3.4. La Figure X montre une représentation d'un chauffe-eau électrique décentralisé.

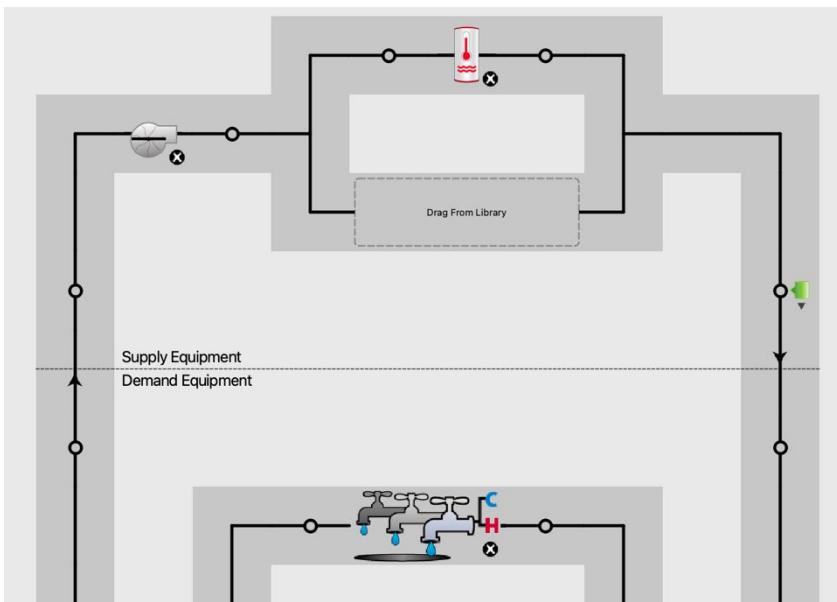


Figure 32: Chauffe-eau électrique décentralisé

L'archétype 2 intègre un système de chaudière à gaz central, fournissant à la fois les besoins de chauffage et d'eau chaude domestique, complété par des systèmes AC unitaires pour le refroidissement. Le cadre de chauffage comprend un système de boucle d'eau unique propulsé par une chaudière à gaz naturel, dirigeant de l'eau chauffée vers un composant Open Studio Coil Heating Water. Un système de boucle d'air subséquent a été conçu pour extraire la chaleur de la bobine, fournissant ainsi de la chaleur à toutes les zones.

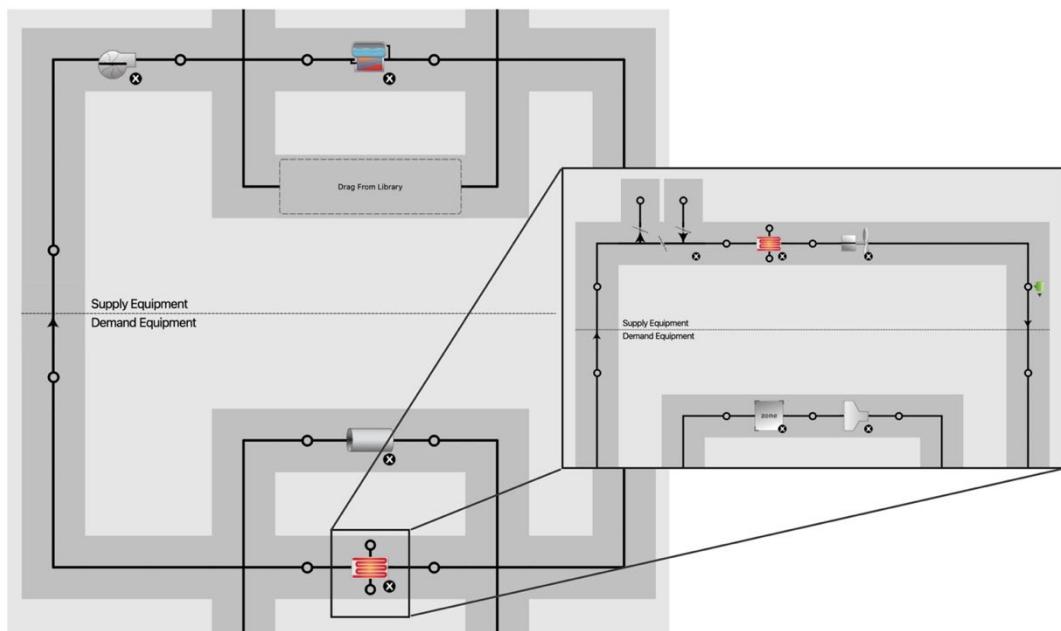


Figure 33: Chaudière centrale à gaz

L'archétype 4 est caractérisé par un système de pompe à chaleur centrale, destiné à la fois au refroidissement et au chauffage. Au sein d'Open Studio, cela a été créé à l'aide d'une boucle de pompe à chaleur de toiture. Cette boucle utilise un bobinage de refroidissement DX à vitesse unique, un bobinage de chauffage DX à vitesse unique, un bobinage de chauffage électrique et un ventilateur à volume constant sur son côté d'alimentation. Les COPs évalués des bobinages de refroidissement et de chauffage ont été fixés respectivement à 3,5 et 4,5, sur la base d'une revue de la littérature. La Figure 34 démontre comment

ces composants du côté de l'alimentation sont interconnectés avec toutes les zones dans la boucle de demande.

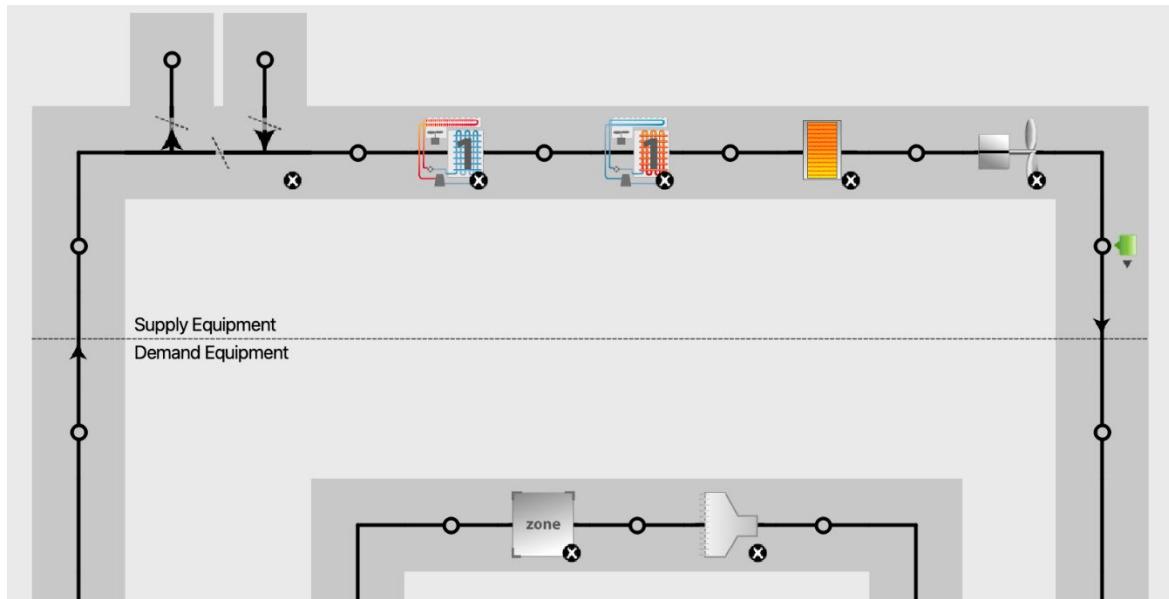


Figure 34: Système central de pompe à chaleur

5 Validation du modèle finale.

5.1 Méthodologie

Pour la validation du modèle finale, nous avons utilisé le système 1 avec l'exemple de bâtiment multi logement d'hauteur moyenne, et nous essayerons de voir si les résultats globales (énergie et puissance) sont semblables a ceux résultants de l'analyse des sets de données livrés par Hydro Québec.

5.2 Analyses des données

Nous avons analysé L'analyse des groupes de données existants nous aidera a connaitre le valeur réelle de la consommation des bâtiments multi résidentiels. Nous avons reçu des données pour les années 2020, 2021, 2022 et 2023. Les valeurs sont très semblables pour les trois années, a exception d'une descente de la consommation en 2021.Nous allons utiliser 2022 comme référence.

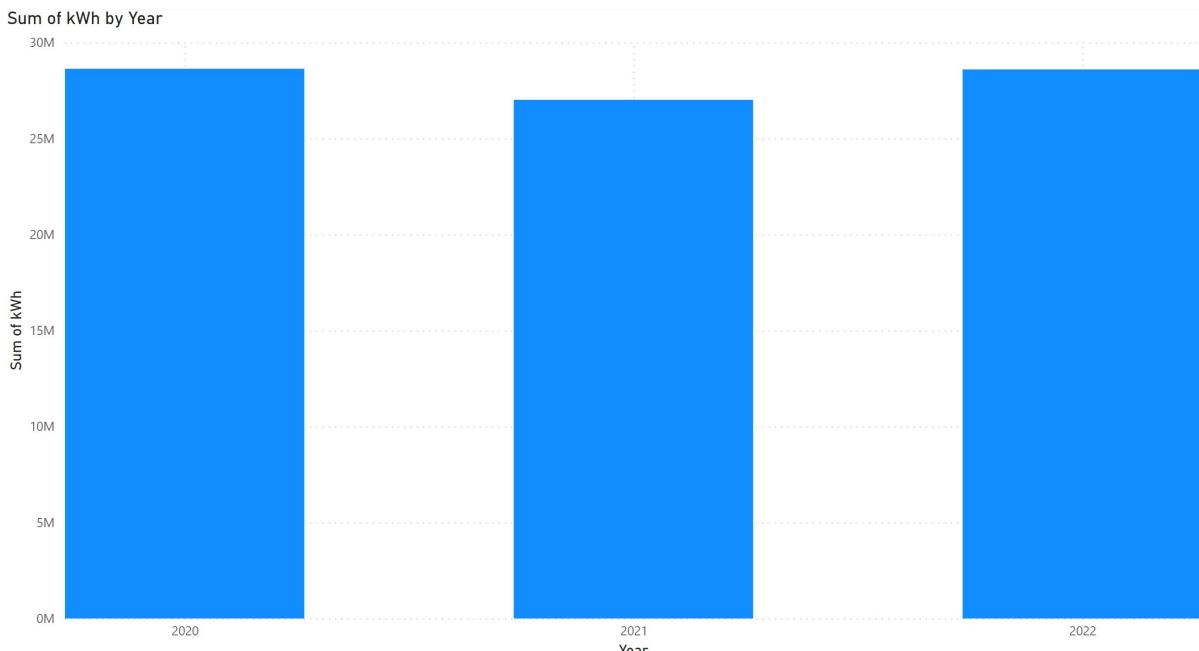


Figure 35: Consommation energie par année dans les 50 bâtiments multilogements envoyés par Hydro-Québec

5.3 Premiers résultats

Les résultats obtenus par appartement sont les suivants (avec 50 appartements). La Figure 36 montre qu'il y a au moins un cas qui échappe à la moyenne.

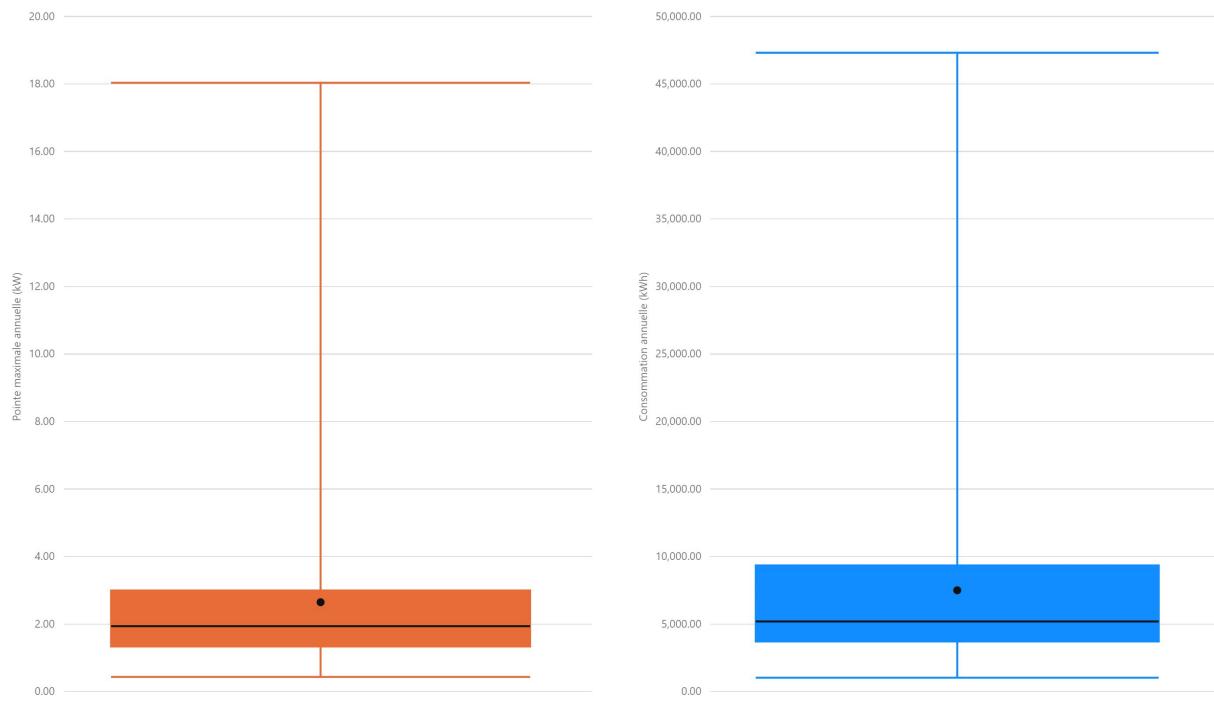


Figure 36: Boxplot avec consommation par appartement et pointe électrique par appartement incluant tous les cas

Pour comprendre les cas que nous pouvons considérer comme valeurs aberrantes, nous avons créé la Figure 37, que met en relation le ratio entre mois de consommation maximale et mois de consommation minimale. Les profils avec une relation inférieure à 2 (hiver-été) ou une consommation de plus de 13.000 kWh par an par appartement sont considérés com valeurs aberrantes, et seront ignorés.

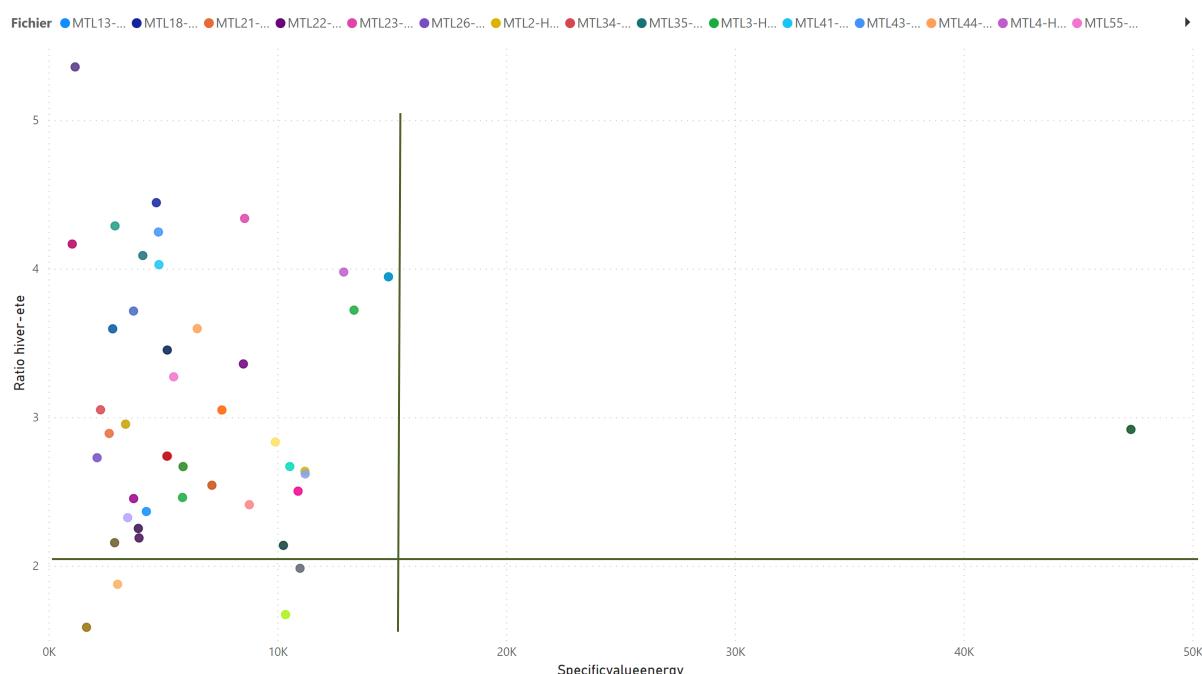


Figure 37: Détection de valeurs aberrants pour filtrer les données

Une fois ces valeurs ont été éliminés, nous avons analysé le valeur de consommation spécifique et de puissance spécifique par mètre carré, si nous considérons une surface moyenne de 81.9 m² par appartement [8]. Pour valider ces valeurs, nous utiliserons uniquement les bâtiments de Montréal, pour pouvoir comparer avec le modèle.

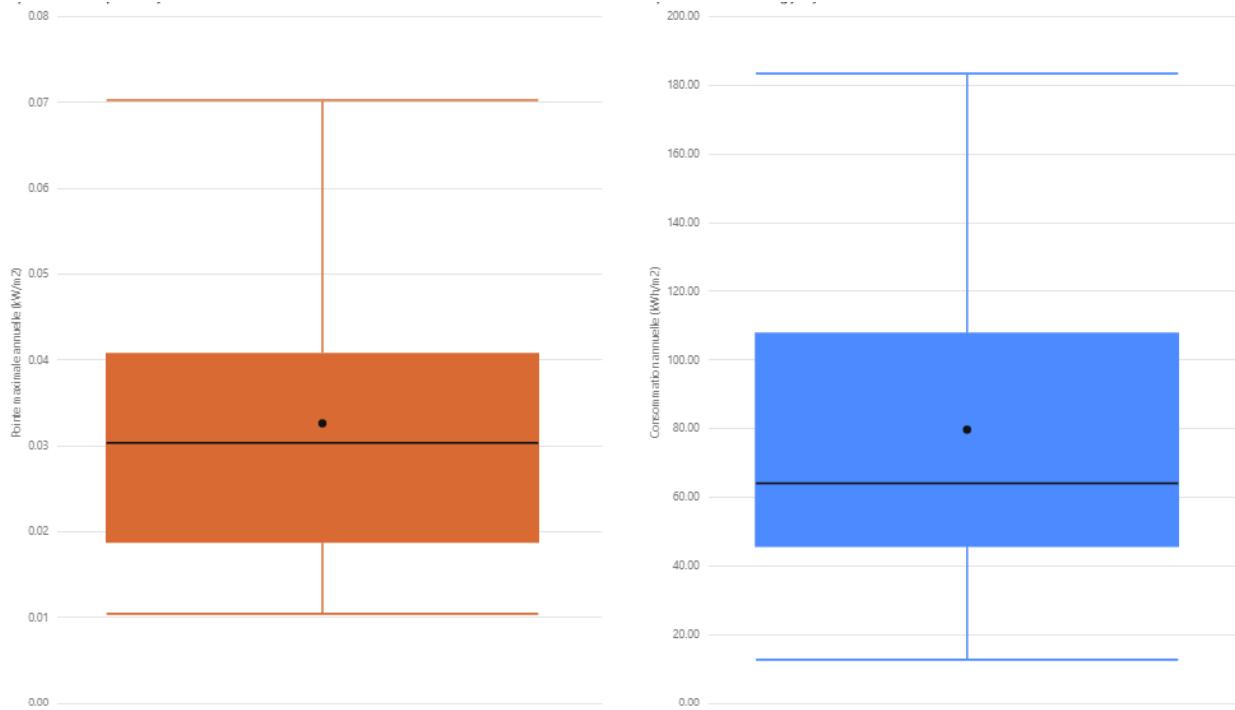


Figure 38: Boxplot avec la consommation par m² et la puissance par m² (hypothèse de surface moyenne appartements de 82 m²)

Les valeurs de consommation moyenne et de puissance maximale sont très bas, spécialement par rapport à la pointe.

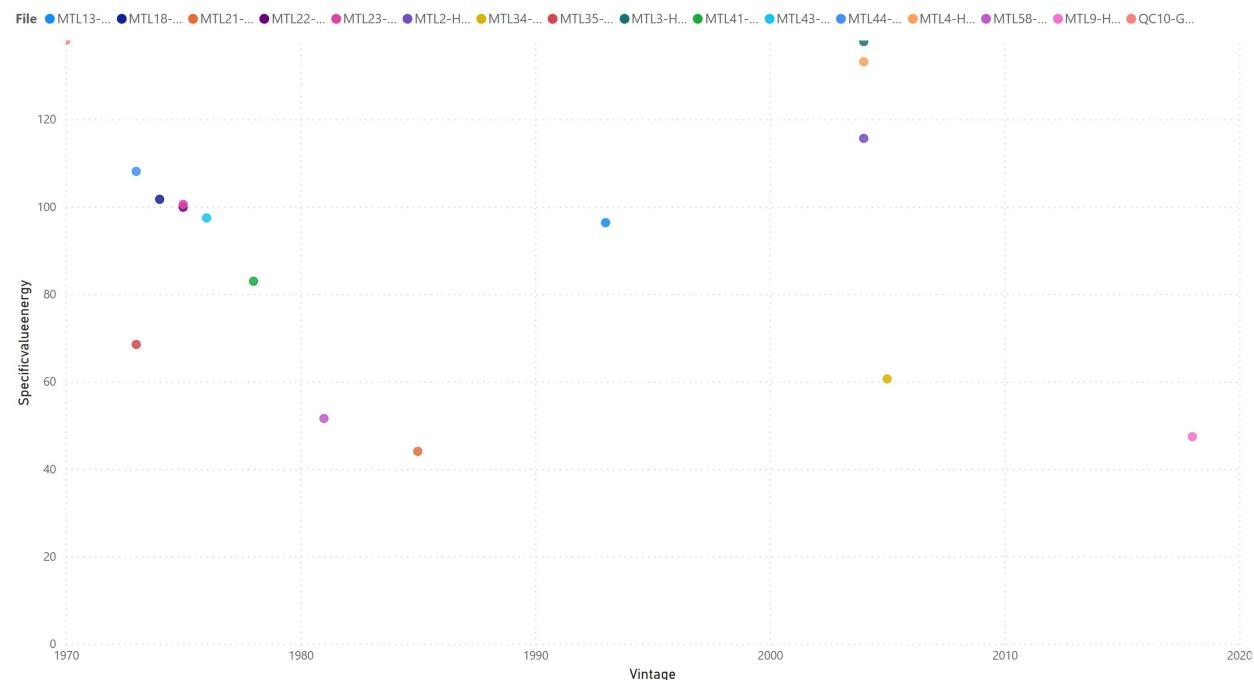


Figure 39: Consommation électrique par appartement par rapport à l'âge des bâtiments

Si nous regardons la relation de ces valeurs avec l'âge de construction des bâtiments, même s'il semble y avoir une tendance, il y a des bâtiments qui sortent de cette tendance (spécialement 3 bâtiments à Montréal, construits entre 2000 et 2010).

5.3.1 Comparaison météorologique

Les simulations se feront avec les fichiers epw du NREL et, donc, il y aura des différences entre les résultats obtenus et les résultats de la consommation réelle des bâtiments. Nous allons comparer d'abord les valeurs des fichiers météo avec les données météorologiques.

Nous avons comparé les degrés jour (à 18 degrés) entre le fichier epw et les données quart-horaires obtenus dans le set de données parquet, station McTavish.

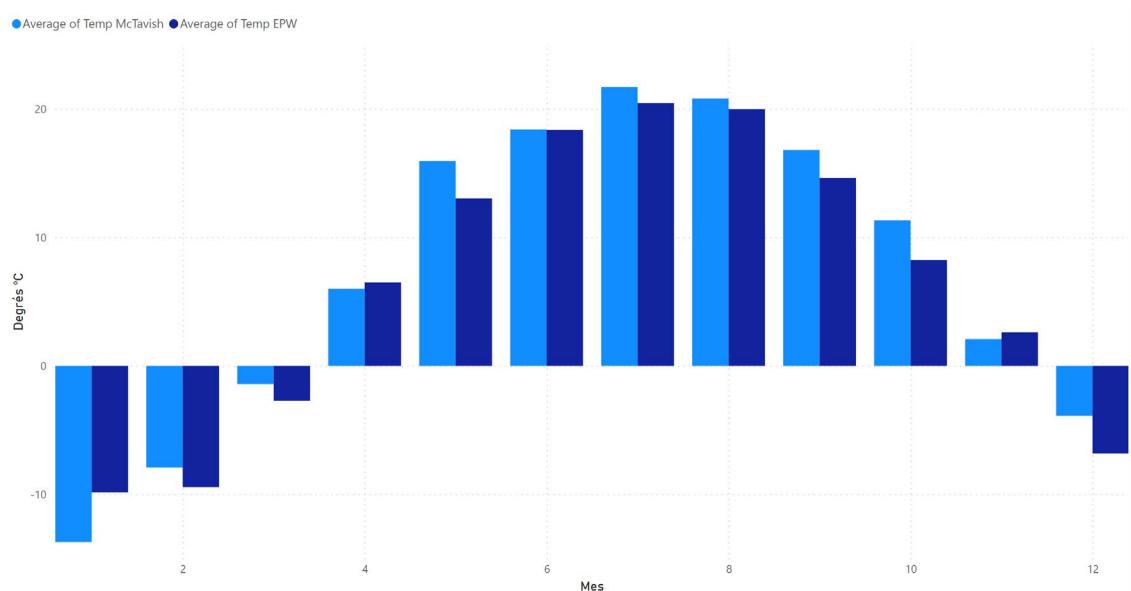


Figure 40 : Moyennes températures McTavish et epw

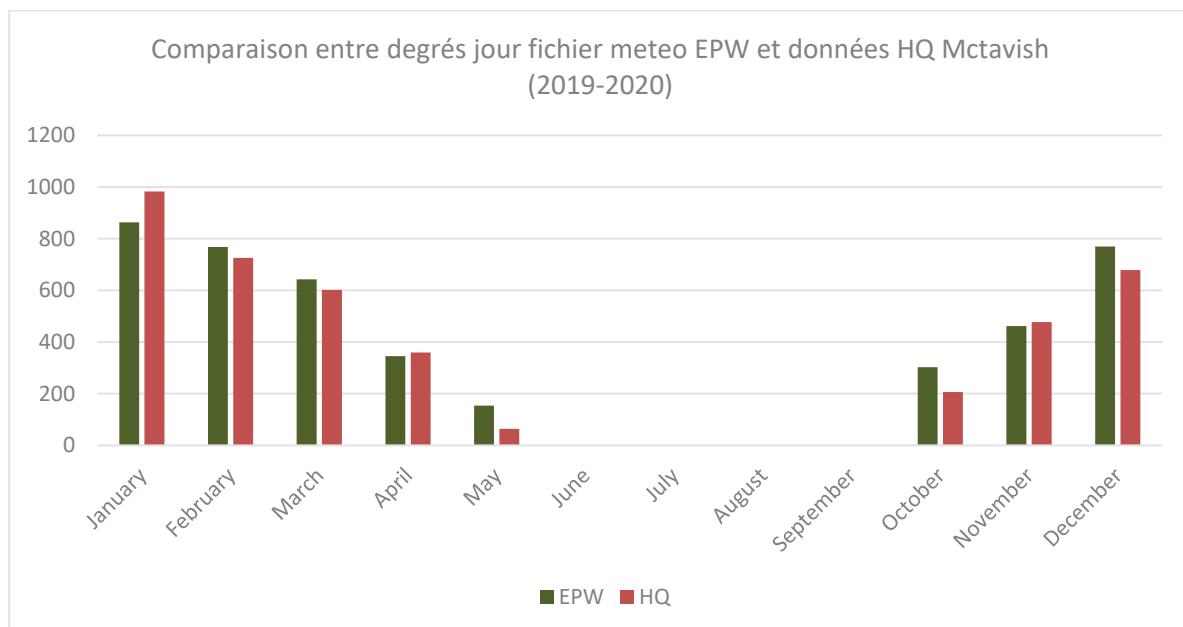


Figure 41: Degrés jour à 18°C, base horaire, comparaison McTavish et epw

Si nous analysons les degrés-jour, la différence avec le epw est d'un 5%. En principe, la différence ne semble pas suffisante pour devoir changer les tendances.

5.3.2 Simulation avec fichiers OSM

Nous allons calculer les résultats réels globales d'énergie et pointe électrique pour les 4 hypothèses constructives que nous avons proposées (l'hypothèse constructive « au-delà de 2020 » n'a pas été considéré). Nous allons comparer ces résultats avec les données d'Hydro Québec pour Montréal.

5.3.2.1 Résultats simulations

Une fois validé le modèle, nous avons calculé la consommation électrique et la pointe avec les modèles pour Québec.

Les résultats obtenus pour les différents groupes de bâtiments ont été :

	Consommation électrique par m ²	Pointe électrique par m ²	Ratio hiver-été
Pre-1950	163.29	0.085	4.77
Pre-1980	130.51	0.069	3.39
1980-2010	125.86	0.058	3.21
2011-2020	93.98	0.037	2.22

5.3.2.2 Comparaison données réelles et simulations

Nous voyons que nos modèles surestiment la consommation énergétique et la pointe énergétique, mais sont assez alignés avec le ratio hiver-été. Une des potentielles causes est la ventilation naturelle dans des mois intermédiaires.

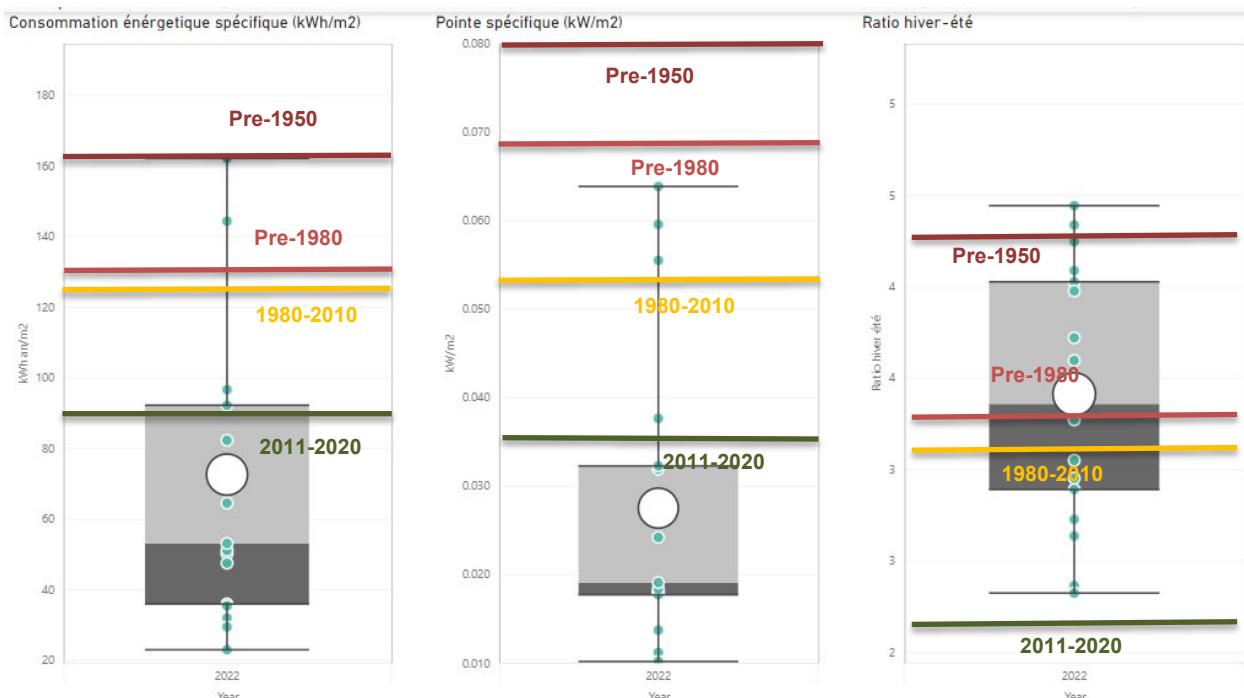


Figure 42: Boxplot d'énergie par m² des bâtiments d'HQ à Montréal, pointe par m² et ratio hiver-été (énergie) par rapport aux calculs d'HQ

Quelques effets peuvent expliquer la différence :

- Le modèle utilisé pour valider a été un modèle purement électrique. Peut-être que certains bâtiments utilisent des pompes à chaleur, au moins pendant les mois intermédiaires

- Nous n'avons pas inclus les bâtiments de grande hauteur. Dans ces bâtiments, la puissance sera réduite (simultanéité), et probablement, à cause de la densification, la consommation aussi. Néanmoins, il faudra l'analyser.

5.3.3 Comparaison modèles horaires

Nous allons comparer le modèle avec les hypothèses 2011-2020 avec les données réelles moyennées entre les 18 bâtiments de Montréal, pour 2 semaines en hiver et 2 semaines en été. Nous pouvons observer que les formes des pics sont similaires, mais que les charges de base sont beaucoup plus importantes dans le cas des bâtiments réels.

Cela peut expliquer la réduction de la pointe d'énergie que nous observons dans le cas de la simulation par rapport aux données d'Hydro-Québec.

Il est probable que les hypothèses concernant les températures d'abaissement ne sont pas adéquates (d'après le NECB), et que les bâtiments sont exploités à un niveau de contrôle beaucoup plus fixe.

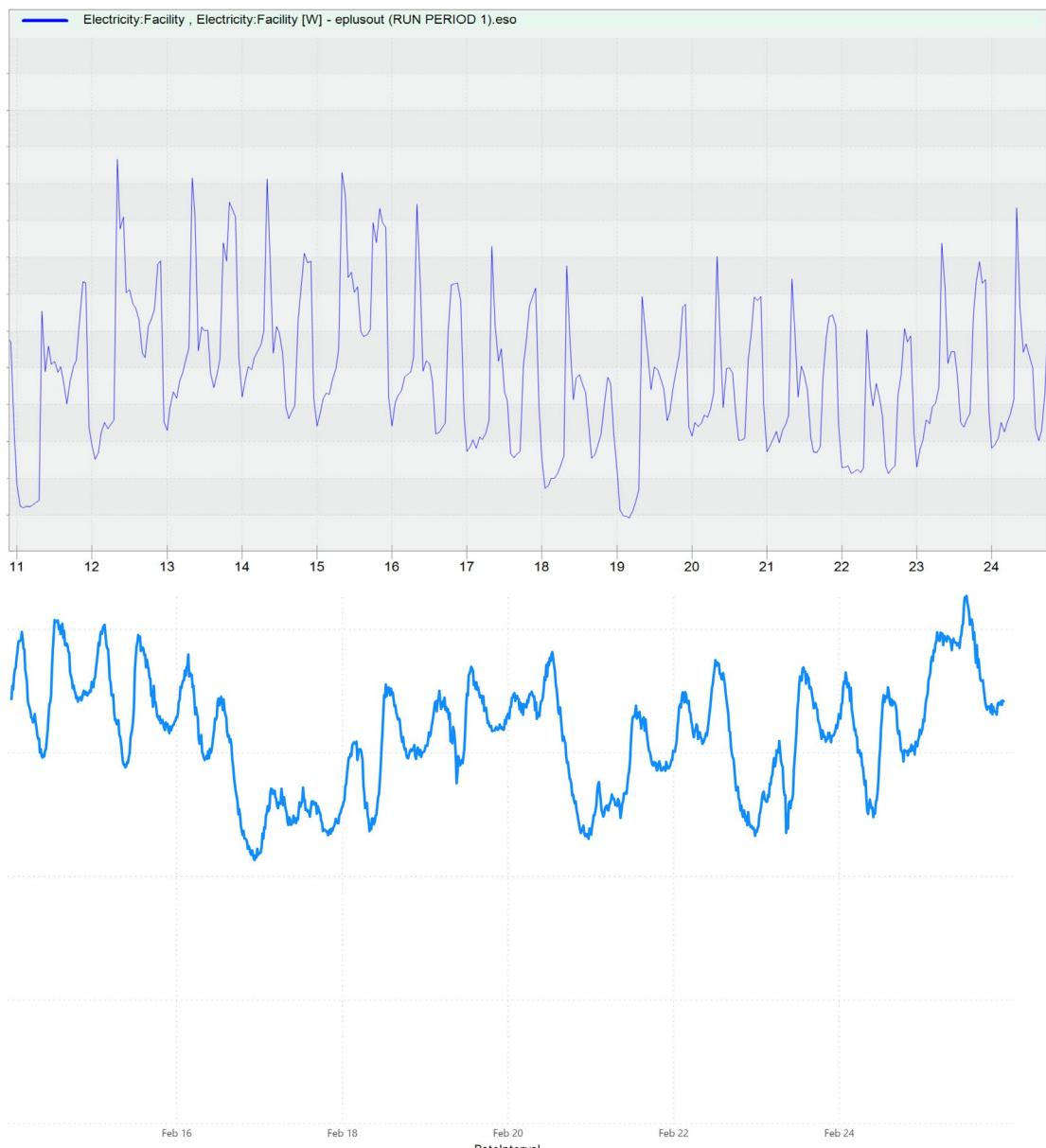


Figure 43: Consommation horaire simulation (en haut) et données existants (en bas), semaine février (températures semblables, selon Figure 40)

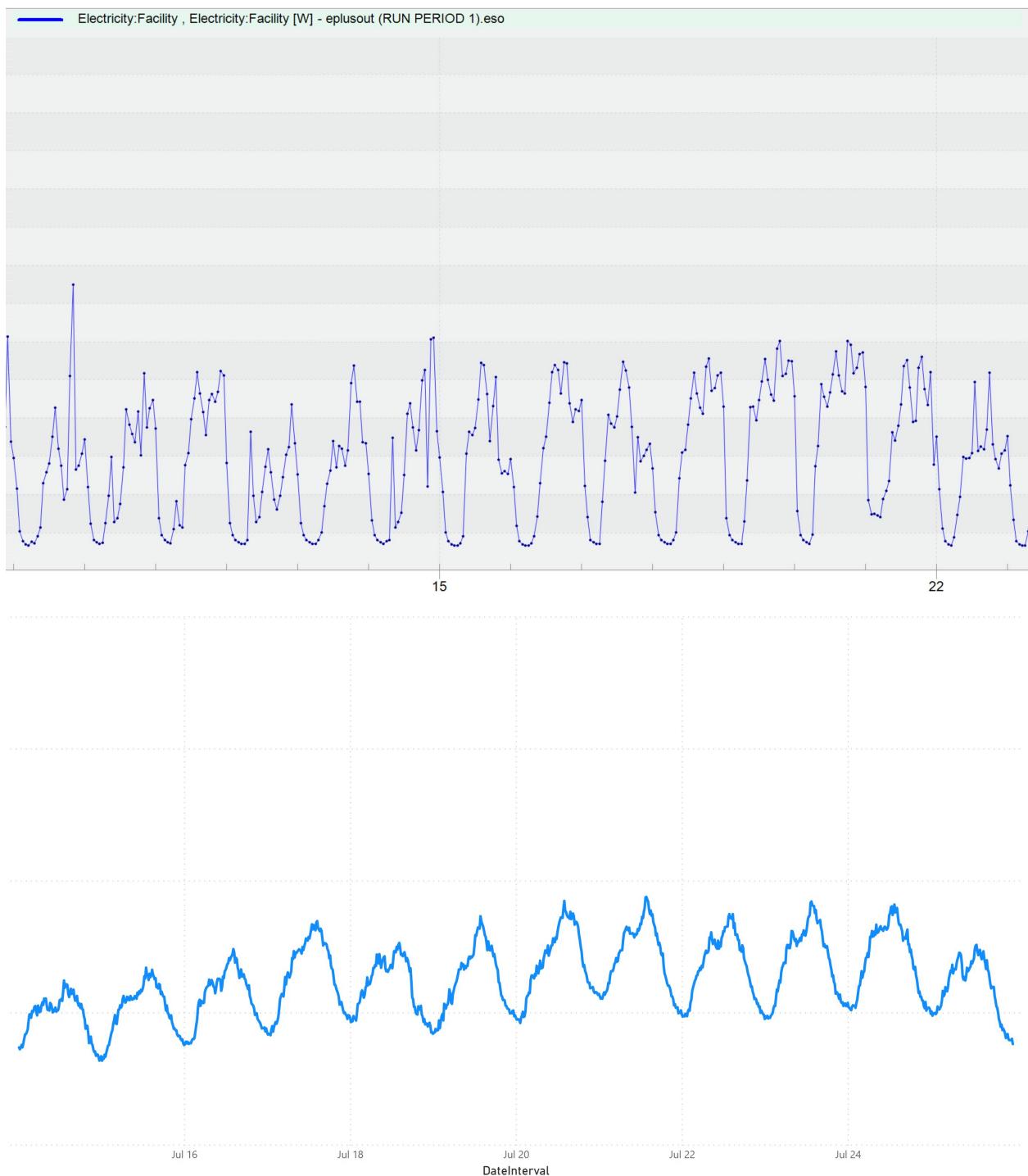


Figure 44: Consommation horaire simulation (en haut) et données existants (en bas), semaine juillet

6 References

- [1] M. Charbonneau, "Simulating the effects of enclosure retrofits on post-war high-rise apartment buildings in cold climates," 2011. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:115059299>
- [2] "Decarbonizing Canada's Large Buildings," Canada Green Building Council (CAGBC). Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.cagbc.org/news-resources/research-and-reports/decarbonizing-canadas-large-buildings/>
- [3] "Study of Part 3 Building Airtightness - Resources," RDH Building Science. Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.rdh.com/resource/study-of-part-3-building-airtightness/>
- [4] P. S. and P. C. Government of Canada, "Air leakage characteristics, test methods and specifications for large buildings : report / prepared by Gary Proskiw and Bert Phillips. : NH18-1/109-2001E-PDF - Government of Canada Publications - Canada.ca." Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://publications.gc.ca/site/eng/390559/publication.html>
- [5] G. Finch, E. Burnett, and W. Knowles, "Energy consumption in mid and high rise residential buildings in british columbia," Apr. 2010.
- [6] L. C. Ng, N. Ojeda Quiles, W. S. Dols, and S. J. Emmerich, "Weather correlations to calculate infiltration rates for U. S. commercial building energy models," *Build. Environ.*, vol. 127, pp. 47–57, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.10.029.
- [7] L. C. Ng, W. S. Dols, and S. J. Emmerich, "Evaluating potential benefits of air barriers in commercial buildings using NIST infiltration correlations in EnergyPlus," *Build. Environ.*, vol. 196, p. 107783, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107783.
- [8] "Here is Montreal's average apartment size per borough | Urbanized." Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://dailyhive.com/montreal/montreal-apartment-size-borough>