

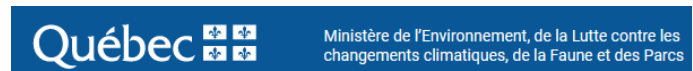


NEXT-GENERATION  
CITIES INSTITUTE



# Archétypes bâtiments duplex-triplex

Envoyé à : Ministère de l'Environnement, de la Lutte  
contre les changements climatiques, de la Faune et  
des Parcs



Par :

Institut de Villes de Nouvelle Génération, Université  
Concordia

Polytechnique Montréal

**NOVEMBRE 2024**

## 1 Contents

1.1	Index des figures .....	3
1.2	Index de tableaux .....	3
<b>2</b>	<b>Objectifs du document .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Antécédents .....</b>	<b>4</b>
3.1	Contrat Concordia-Polytechnique-MELCC-Hydro-Québec .....	4
3.2	Documentation utilisée par les universités et livrée par le Ministère .....	5
3.2.1	<i>Données géospatiales</i> .....	5
3.2.2	<i>Données constructives</i> .....	5
3.2.3	<i>Données d'infiltration</i> .....	5
3.2.4	<i>Données opérationnelles (consommation des prises, illumination, occupation, eau chaude sanitaire)</i> .....	6
3.2.5	<i>Données de systèmes énergétiques</i> .....	6
<b>4</b>	<b>Méthodologie générale de l'étude.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Étapes de calcul .....</b>	<b>7</b>
5.1	Clusterisation géométrique.....	7
5.1.1	<i>Méthodologie</i> .....	7
5.2	Données de construction pour les archétypes : analyse des sources et proposition d'une structure de données .....	12
5.2.1	<i>Données de construction</i> .....	12
5.2.2	<i>Traitement des données</i> .....	12
5.2.3	<i>Propriétés des parois</i> .....	13
5.2.4	<i>Infiltration</i> .....	15
5.2.5	<i>Masse thermique</i> .....	15
5.3	Systèmes CVCA.....	16
5.3.1	<i>Chauffage des espaces</i> .....	16
5.3.2	<i>Climatisation des espaces</i> .....	16
5.3.3	<i>Extraction d'air vicié et ventilation mécanique</i> .....	16
5.3.4	<i>Opération des fenêtres (ventilation naturelle)</i> .....	17
5.4	Données pour les usages non-reliés au chauffage et à la climatisation .....	17
5.4.1	<i>Charges d'éclairage et des équipements</i> .....	17
5.4.2	<i>Charges liées à l'eau chaude domestique</i> .....	18
5.4.3	<i>Occupants</i> .....	18
5.5	Modèle final pour les résultats.....	19
5.5.1	<i>Création automatisée de modèles avec Grasshopper</i> .....	19
5.5.2	<i>Modèles finals développés</i> .....	20
5.5.3	<i>Création of sets constructifs</i> .....	21

## 6 Références .....22

### 1.1 Index des figures

Figure 1 Méthodologie détaillé.....	6
Figure 2 : Paramètres utilisés dans le calcul .....	7
Figure 3 : Exemple de calcul de ratio d'aspect et de ratio de compacité .....	8
Figure 4 : Procédure pour atteindre les clusters.....	8
Figure 5 : Processus de clusterisation .....	8
<i>Figure 6 : carte de corrélation des paramètres des données des duplex et triplex.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 7 : échantillon de données affinées à l'aide du processus d'élimination des valeurs aberrantes .....</i>	<i>11</i>
Figure 8: Étape a processus Grasshopper .....	19
Figure 9: Étape b processus Grasshopper .....	20
Figure 10: Étape c processus Grasshopper .....	20
Figure 11: Modèles duplex-finaux.....	21
Figure 12: Modèles triplex-finaux.....	21

### 1.2 Index de tableaux

Tableau 1 : Résultats du groupe.....	11
Tableau 2 : Propriétés de la dalle sur sol.....	13
Tableau 3 : Propriétés des murs extérieurs .....	14
Tableau 4 : Propriétés thermiques du plafond de l'entretoit et de la toiture .....	14
Tableau 5 : Résumé des charges d'éclairage et des équipements .....	18
Tableau 6 : Archétypes proposés .....	19

## 2 Objectifs du document

Ce document vise à :

- Planifier le développement d'archétypes pour les bâtiments duplex et triplex
- Établir clairement les hypothèses avant chacune des étapes
- Tester les méthodologies avec des échantillons des données disponibles

De même, comme chapitre final, de nouvelles étapes seront jugées nécessaires pour approfondir le problème.

## 3 Antécédents

### 3.1 Contrat Concordia-Polytechnique-MELCC-Hydro-Québec

Concordia et Polytechnique travaillent, depuis longtemps, pour développer des archétypes de bâtiments avec l'objectif de créer des jumeaux numériques des villes. Dans cet effort, les chercheurs·ses des deux universités ont développé méthodologies pour établir le nombre d'archétypes qui doivent être assignés à 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 Polytechnique pour pouvoir créer des archétypes de bâtiments. Les deux universités ont reçu un contrat pour élaborer ces archétypes pour les logements duplex et triplex.

## 3.2 Documentation utilisée par les universités et livrée par le Ministère

### 3.2.1 Données géospatiales

Les données géospatiales utilisées dans cette étude ont été recueillies pour soutenir le développement d'archétypes géométriques pour les immeubles de bureaux à Montréal. L'ensemble de données a été construit en intégrant de multiples sources, y compris des unités d'évaluation foncière, des données 3D sur les bâtiments, des données Lidar aériennes et des données cadastrales sur les parcelles. Cette approche multi-sources a permis la création d'un fichier geoJSON détaillé qui incorpore les attributs essentiels des bâtiments, tels que la hauteur, le nombre d'étages, le type d'utilisation et l'année de construction. Malgré certaines limites dans la qualité des données et la couverture géographique, en particulier en dehors de Montréal, le jeu de données traitées fournit une base solide pour l'analyse des morphologies et des caractéristiques des bâtiments.

Le processus de nettoyage des données a été décrit au document « Document sur les archétypes des bâtiments résidentiels multi logement à Québec » ( Institut de Villes de Nouvelle Génération, 2023) et nous avons utilisé les mêmes données de base pour créer les archétypes de duplex et triplex.

### 3.2.2 Données constructives

#### 1. Codes de construction et documents officiels:

- Code de construction du Québec 2015 : 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. (*Code de construction - Régie du bâtiment du Québec*, s. d.)

#### 2. Études :

- Données provenant de la documentation de l'étude « EVAL-ISO » qui a produit deux documents pertinents :
  - Le rapport final qui résume les constats de l'étude (Hydro-Québec, 1994) et qui contient des données sur la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments résidentiels, et plus spécifiquement les duplex et triplex.
  - Le guide d'enquête, qui donne des détails techniques sur laquelle l'étude repose (Hydro-Québec, 1993)

### 3.2.3 Données d'infiltration

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

- La base de données « Énergide pour les maisons », connue comme la « EnerGuide for Housing Database (EGHD) », qui est compilée par Ressources Naturelles Canada à partir des évaluations énergétiques du programme ÉnerGuide. La base de données est un sous-ensemble de la base de données originale. La base a été échantillonnée pour obtenir une base de données qui correspond à la distribution statistique d'une base de données statistiquement représentative du Canada, comme le SHEU.
- Les données provenant de l'étude « ÉVAL-ISO » (Hydro-Québec, 1994)

### 3.2.4 Données opérationnelles (consommation des prises, illumination, occupation, 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.
- Données des profils

### 3.2.5 Données de systèmes énergétiques

- Données Hydro-Québec OPE-IMA-METEO

## 4 Méthodologie générale de l'étude

La vision générale de la méthodologie suivie est détaillée à la Figure 1. Nous pouvons voir à gauche les données utilisés, les processus de traitement des données, les décisions prises pour la simulation et l'implémentation de ces solutions dans des modèles *Openstudio* et des mesures Ruby, qui pourront être utilisés dans l'outil *Parametric Analysis Tool* (PAT) après le projet.

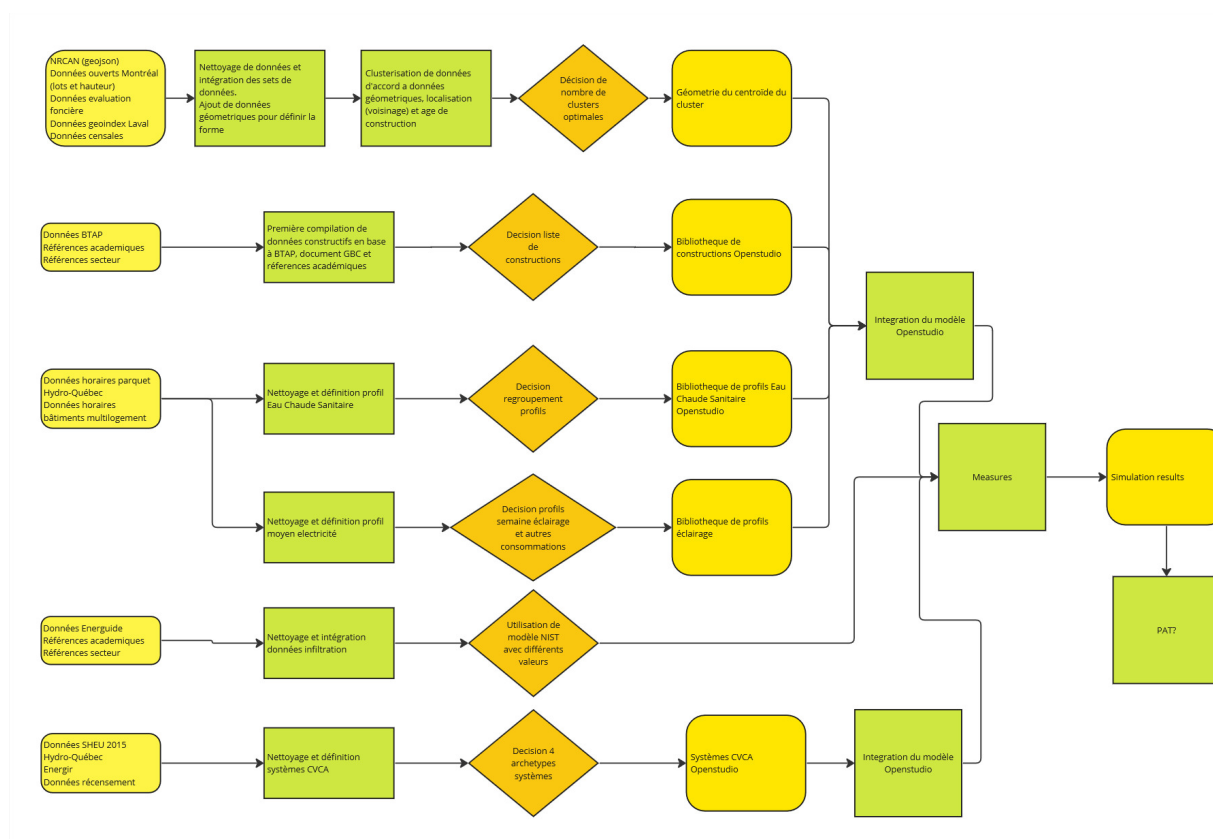


Figure 1 Méthodologie détaillée

## 5 Étapes de calcul

### 5.1 Clusterisation géométrique

#### 5.1.1 Méthodologie

Ce rapport présente une mise à jour exhaustive sur l'avancement actuel du projet d'archétypes de duplex et triplex, en détaillant la méthodologie employée et en exposant les livrables finaux prévus. L'objectif principal de ce projet est de développer des archétypes représentatifs pour les duplex et triplex, classés en fonction de leur hauteur et de leur période de construction. Ces archétypes sont essentiels pour soutenir les efforts de modélisation énergétique urbaine et permettre une analyse efficace des schémas de demande énergétique dans les environnements urbains.

Pour atteindre cet objectif, nous utilisons une approche de clustering basée sur les données. La phase initiale de ce processus de clustering implique un raffinement minutieux du jeu de données et l'élimination systématique des valeurs aberrantes. Cette étape est cruciale, car les valeurs aberrantes peuvent altérer de manière significative les résultats des algorithmes de clustering, conduisant à des définitions d'archétypes inexactes. La détection des valeurs aberrantes est basée exclusivement sur des paramètres géométriques, étant donné que le clustering vise à regrouper les bâtiments en fonction de leurs caractéristiques géométriques. Plus précisément, le processus de détection examine des variables telles que la surface de plancher, le volume du bâtiment, la surface d'emprise au sol, le rapport surface-volume et le rapport de forme (aspect ratio). En analysant en profondeur ces valeurs géométriques, nous pouvons identifier les points de données qui s'écartent substantiellement de la norme. L'élimination de ces anomalies garantit que les clusters résultants représentent fidèlement les caractéristiques géométriques inhérentes aux duplex et triplex du jeu de données, améliorant ainsi la validité et la fiabilité des archétypes développés.

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, des adjacences des bâtiments et de l'année de construction sur la demande thermique globale des bâtiments, ce qui est notre objectif.

Ces caractéristiques géométriques comprennent le ratio d'aspect et le ratio de compacité.

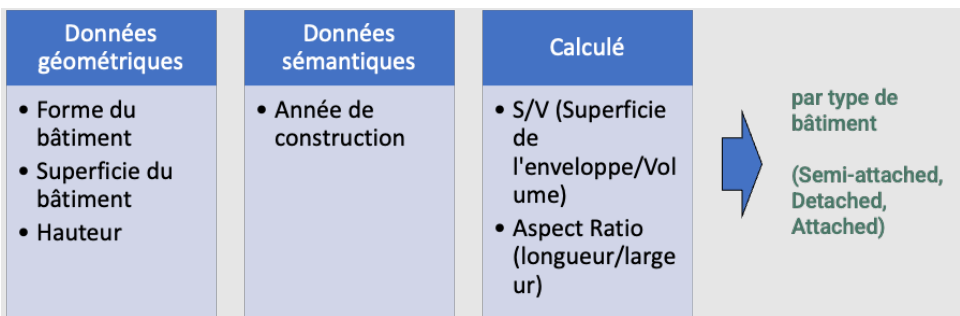


Figure 2 : Paramètres utilisés dans le calcul

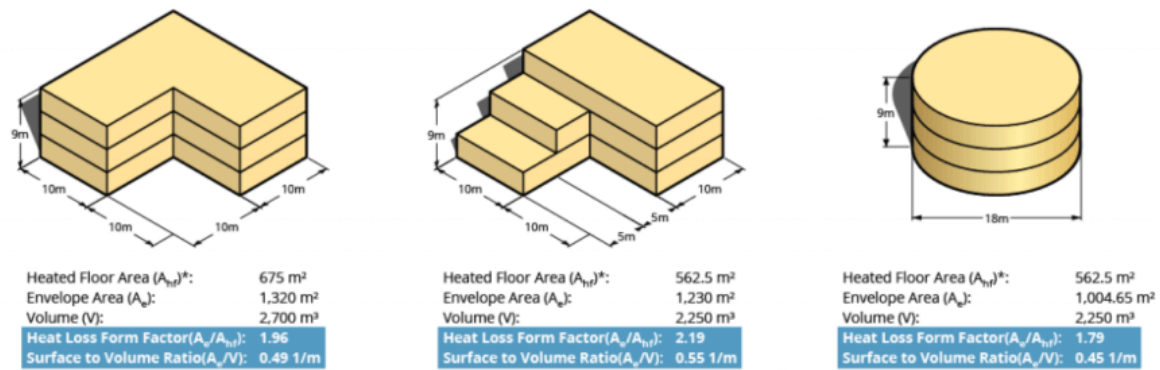


Figure 3 : Exemple de calcul de ratio d'aspect et de ratio de compacité

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 influent sur 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.

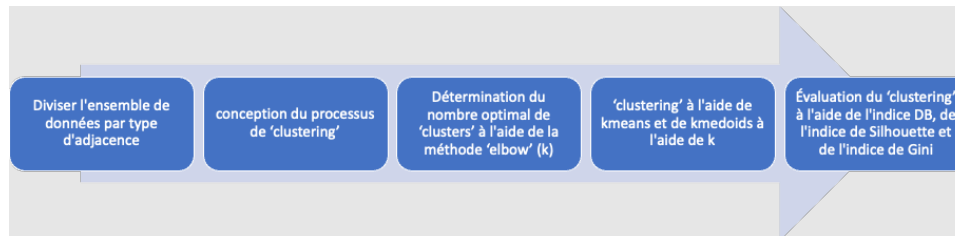


Figure 4 : Procédure pour atteindre les clusters

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-moyennes. 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.

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 coude. 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.



Figure 5 : Processus de clusterisation



Dans cette analyse, des variables clés ont été sélectionnées pour guider le processus de clustering, garantissant que les clusters résultants représentent de manière significative différents types de duplex et triplex. Les variables incluent :

- **Rapport Surface/Volume (S/V)** : Cette mesure fournit un aperçu de la géométrie du bâtiment en reliant sa surface extérieure à son volume interne. Un rapport S/V plus élevé indique un bâtiment avec une plus grande surface extérieure par rapport à son volume, ce qui peut avoir des implications sur les pertes ou gains de chaleur et, par conséquent, sur l'efficacité énergétique.
- **Rapport de forme (Aspect Ratio)** : Il s'agit du rapport entre la longueur et la largeur du bâtiment, décrivant la forme globale de l'emprise au sol du bâtiment. Le rapport de forme peut influencer l'éclairage naturel, la ventilation et la répartition des espaces intérieurs, affectant la performance énergétique opérationnelle du bâtiment.
- **Période de construction (Vintage)** : Cela fait référence à la période de construction ou à l'âge du bâtiment. La période de construction est un facteur critique, car les codes du bâtiment, les matériaux de construction et les pratiques de conception ont évolué au fil du temps, impactant les propriétés thermiques et l'efficacité énergétique des bâtiments.

En incorporant ces variables dans l'algorithme de clustering des k-moyennes, nous visons à catégoriser les duplex et triplex en archétypes qui reflètent non seulement leurs caractéristiques géométriques, mais prennent également en compte les différences résultant de leurs périodes de construction.

Nous avons également analysé 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.

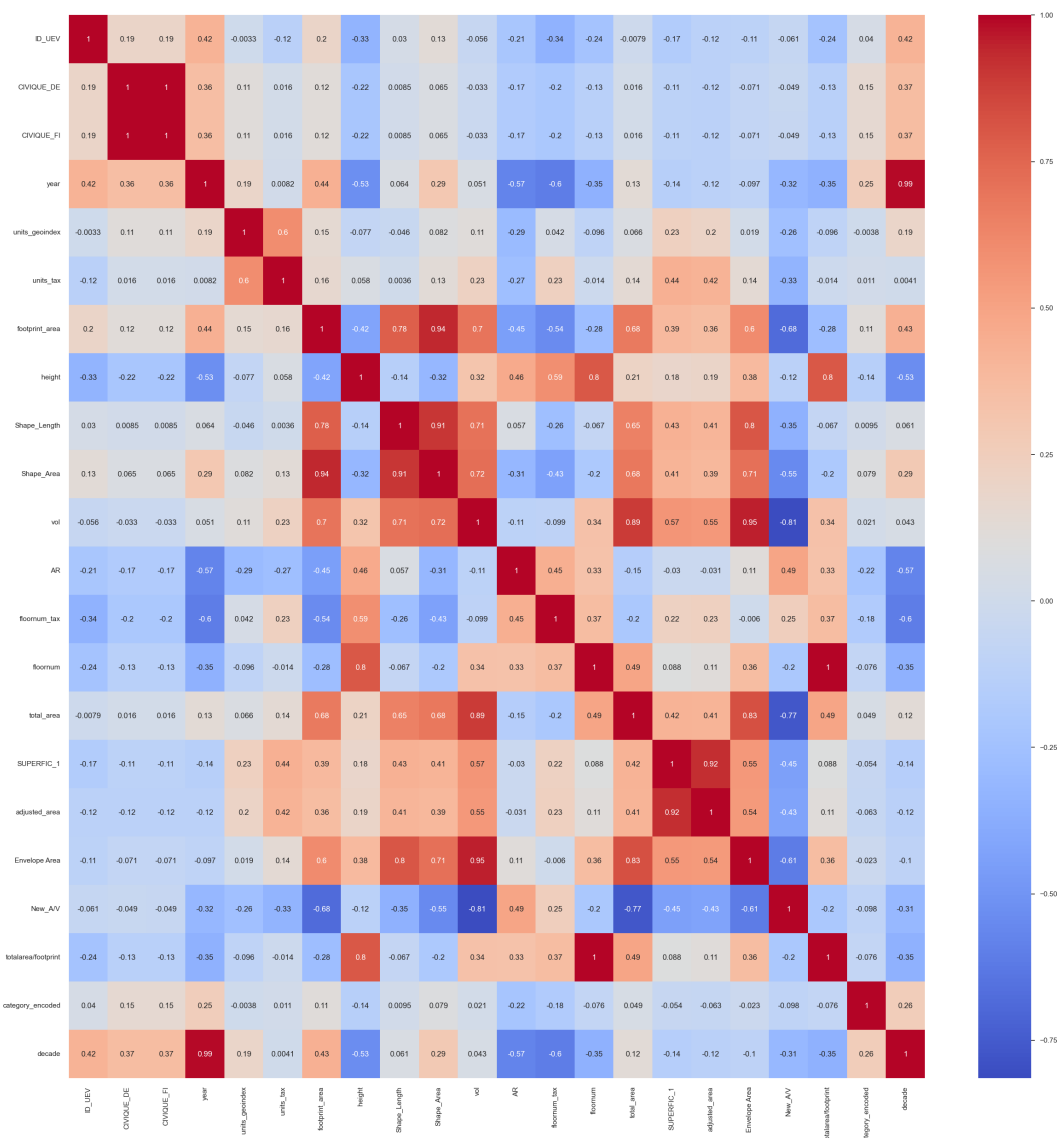


Figure 6 : carte de corrélation des paramètres des données des duplex et triplex

La première étape du processus de clustering consiste en un raffinement minutieux des données et en l'élimination des valeurs aberrantes. Cette étape est essentielle, car les valeurs aberrantes peuvent altérer de manière significative les résultats des algorithmes de clustering. La détection des valeurs aberrantes est basée exclusivement sur des paramètres géométriques, étant donné que l'objectif principal est de créer des clusters fondés sur les caractéristiques géométriques. Plus précisément, le processus de détection examine des mesures telles que la surface de plancher, le volume du bâtiment, la surface d'emprise au sol, le rapport surface-volume et le rapport de forme (aspect ratio). En analysant ces valeurs géométriques, nous pouvons identifier les points de données qui s'écartent substantiellement de la norme. L'élimination de ces anomalies garantit que les clusters résultants représentent fidèlement les caractéristiques géométriques inhérentes au jeu de données.

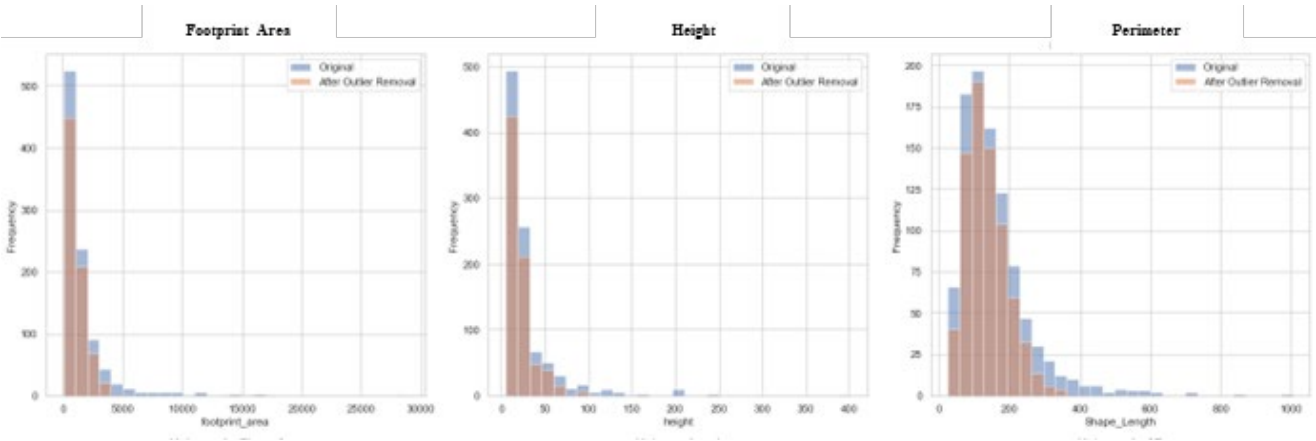


Figure 7 : échantillon de données affinées à l'aide du processus d'élimination des valeurs aberrantes

Résultats

Les résultats se concentre sur la structure de segmentation des duplex et triplex. Dans cette catégorie, l'analyse de clustering a été menée en tenant compte des types d'attachement des bâtiments—détachés, semi-attachés et attachés. Le nombre de clusters était de 4 pour chaque catégorie d'attachement.

Tableau 1 : Résultats du groupe

Global ID	Aspect Ratio	Surface Area to Volume Ratio	Construction year	Attachment	Cluster
3018197	1.768	0.528233	1929	detached	0
3104581	1.462	0.541241	1962	detached	1
2040579	1.405	0.508741	1987	detached	2
5109091	1.218	0.588889	2013	detached	3
3011153	2.168	0.561663	1915	attached	0
2038465	1.838	0.542857	1987	attached	1
2087889	1.803	0.563837	1968	attached	2
5238663	2.237	0.652129	2015	attached	3
1034916	2.087	0.554081	1910	semi	0
2010867	1.325	0.534361	1960	semi	1
3051982	1.439	0.520755	1984	semi	2
5235361	1.77	0.631746	2015	semi	3

## 5.2 Données de construction pour les archétypes : analyse des sources et proposition d'une structure de données

La définition des parois opaques du modèle énergétique sera homogénéisée en construisant une bibliothèque des composantes de l'enveloppe qui pourrait être utilisée dans la définition des archétypes de toutes les typologies des maisons unifamiliales.

La création d'une telle bibliothèque assure premièrement que les composantes à travers les différents modèles sont cohérentes, et deuxièmement elle facilite la mise à jour des éléments des composantes quand des informations plus détaillées ou plus à jours seront disponibles.

Les prochaines sections présentent les données et l'approche utilisée pour construire la base de données des composantes de l'enveloppe, ainsi que les caractéristiques principales des ensembles de construction qui en résultent. Les propriétés détaillées des composantes seront disponibles dans un fichier séparé qui sera mis à disposition ultérieurement.

### 5.2.1 Données de construction

Le projet ÉVAL-ISO (Hydro-Québec, 1993, 1994), mené dans les années 90, visait à évaluer la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments résidentiels au Québec. Le rapport du projet présente les résultats d'enquêtes sur les résidences, pendant lesquelles le niveau de performance était noté se basant sur le type de construction et des potentielles modifications effectuées pendant des rénovations. Les enquêteurs notaient en se basant sur ces informations une estimation de la performance thermique des parois. Dans la guide pour les enquêteurs du projet ÉVAL-ISO, on retrouve un document qui détaille les composantes typiques au Québec par période de construction. Les résultats de l'étude sont résumés dans le rapport final du projet et donnent la valeur moyenne de la résistance thermique par type de parois pour les différents types d'habitation et les différents périodes de construction.

Les périodes de construction présentées dans l'étude sont comme suit :

- Avant 1945
- De 1946 à 1970
- De 1971 à 1985
- De 1985 à 1993 (l'année de l'étude)

Les mêmes périodes de construction seront adoptées pour les archétypes. On prolonge tout simplement la dernière période de construction jusqu'à 2012. On ajoute également un archétype pour des bâtiments de « nouvelle construction » qui aura des propriétés thermiques selon le code de construction du Québec.

### 5.2.2 Traitement des données

Les données fournies par les rapports de l'étude ÉVAL-ISO doivent être interprétées et traitées avant de pouvoir être implémentées dans les archétypes.

Comme mentionné dans la section précédente, le guide de l'évaluateur (Hydro-Québec, 1993) nous indique les composantes typiques par période de construction. On y retrouve principalement quelle méthode de construction et quels matériaux de construction étaient le plus couramment utilisés pendant chaque période. Il est tout de même possible que certaines parties de l'habitation aient subi des rénovations et que par exemple de l'isolant a été ajouté après la construction du bâtiment. Ceci fait que les composantes et les enveloppes « typiques » décrites dans le document ne correspondent pas forcément à la performance thermique « typique » dans les résidences au Québec.

La performance des parois en tenant compte des rénovations est reflété par la résistance thermique qui est présenté dans le rapport final du projet (Hydro-Québec, 1994). Ici, une valeur

de RSI moyenne est donnée qui reflète la moyenne des résistance thermiques *totales* par type de bâtiment et période de construction.

La résistance thermique *totale* en revanche ne tient pas compte des ponts thermiques liés aux parois non-homogènes, comme par exemple les ponts thermiques introduits par les poteaux dans un mur typique à ossature bois. Elle représente donc une surestimation de la résistance thermique *effective* qui devrait être utilisée en simulation.

Des calculs sont nécessaires pour obtenir la valeur de la résistance thermique *effective* à partir de l'hypothèse des composants typiques assumés se basant sur le guide, et la valeur de la résistance thermique *totale* qui est donnée dans le rapport final. Le guide donne les résistances thermiques supposées pour chaque composant. Des couches équivalentes qui tiennent compte des ponts thermiques liés aux éléments de charpente les remplacent.

La section suivante donne un résumé des propriétés principales des parois.

### 5.2.3 Propriétés des parois

Dans les tableaux dans les sous-sections qui suivent, on donne le type de construction et la résistance thermique (RSI) de la paroi pour chaque période de construction. Pour les parois qui ont été basés sur les données d'ÉVAL-ISO, on donne le RSI total provenant directement du rapport et le RSI effectif qui a été calculé par après. Pour la nouvelle construction, la valeur de la  $RSI_{tot}$  vient du code de construction du Québec (CNRC-RBQ, 2022). Les autres parois ont été basées sur des autres sources qui donnent directement le RSI effectif. À noter que le RSI effectif comprend également les résistances des films d'air (intérieur et extérieur, pour les parois hors sol).

#### 5.2.3.1 Propriétés radiatives des parois opaques :

L'émissance pour les grandes longueurs d'onde (appelée *thermal absorptance* dans EnergyPlus) vaut 0.9 pour toutes les surfaces.

L'absorptance solaire dépend de la couleur. Pour les surfaces extérieures, elle est mise par défaut à 0.5, ce qui est une valeur intermédiaire entre des briques rouges (0.5 à 0.7) et des revêtements en bardage de couleur plus claire (0.3 à 0.5). Pour les surfaces intérieures, on suppose une couleur claire avec une absorptance de 0.3 pour toutes les surfaces sauf les planchers qui sont supposés de couleur plus foncée (0.5).

L'absorptance dans la gamme visible est mise par défaut à 0.5, sauf pour les planchers intérieurs (0.2).

#### 5.2.3.2 Dalle sur sol :

La dalle du sous-sol est supposée être non-isolée, en béton lourd (LTE, 2016). On remarque que la résistance thermique de la dalle du sous-sol est très faible. Le transfert de chaleur à travers cette paroi est donc très sensible à la température du sol qui est imposée à la surface extérieure de la dalle, qui est par défaut mise à 18 °C dans la simulation.

Tableau 2 : Propriétés de la dalle sur sol

	Pre 1945	1946-1970	1971-1985	1986-2012	Nouvelle construction
Type de construction	Dalle du sous-sol en béton lourd	Dalle du sous-sol en béton lourd	Dalle du sous-sol en béton lourd	Dalle du sous-sol en béton lourd	Dalle du sous-sol en béton lourd
$RSI_{eff}$ [m² K/W]	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

#### 5.2.3.3 Murs extérieurs

Les murs extérieurs sont en carré de bois jusqu'à 1945 avec un revêtement en bois. Après 1945 ils sont à ossature bois 2x4 (poteaux de 2 po x 4 po de dimensions nominales) sans ou avec

isolant selon la période de construction (Hydro-Québec, 1993) avec un revêtement en bardage de vinyle. Selon la résistance thermique totale indiquée par ÉVAL-ISO, de l'isolant est ajouté à l'intérieur de la construction en supposant que des rénovations ont été effectuées.

Tableau 3 : Propriétés des murs extérieurs

	Pre 1945	1946-1985	1986-2012	Nouvelle construction
Type de construction	Carré de bois, isolant ajouté à l'intérieur	Ossature bois 2x4 sans isolant, isolant ajouté à l'intérieur	Ossature bois 2x4 avec isolant, isolant ajouté à l'intérieur	Ossature bois 2x4 avec isolant, isolant ajouté à l'intérieur
RSI <sub>tot</sub> [m² K/W]	2.15	2.22	3.33	4.31
RSI <sub>eff</sub> [m² K/W]	2.16	2.26	2.65	3.62

Explications pour certaines couches :

- Pour la couche représentant l'ossature bois avec isolant, l'épaisseur a été prise à 89 mm (épaisseur nominale d'un poteau 2" x 4"). Le pourcentage de la surface occupé par les poteaux de bois a été pris égal à 24.5 % (MERN, 2021, Tableau 4). Les propriétés thermiques sont celles des couches G04 (bois) et I04 (Isolant) du Handbook of Fundamentals (ASHRAE, 2021b).
- La présence d'isolant entre les poteaux est basée sur la période de construction et les indications dans le guide d'ÉVAL-ISO.
- Quand la résistance thermique totale est plus élevée que celui de la construction de base, on suppose la présence d'une isolation supplémentaire, qui aura été mise en place pendant des rénovations. Pour simplifier, on suppose que l'isolant a été ajouté à l'intérieur pour tous les assemblages et que la construction originale n'a pas été touchée.
- Au lieu du bardage en vinyle, le mur extérieur peut avoir un parement en briques.

#### 5.2.3.4 Toit

Le plafond est à ossature bois avec des solives de 2 pouces par 10 pouces de dimensions nominales. La toiture est du contreplaqué avec des bardeaux d'asphalte.

Tableau 4 : Propriétés thermiques du plafond de l'entretoit et de la toiture

	Pre 1945	1946-1985	1986-2012	Nouvelle construction
Type de construction	Ossature bois 2x10 sans isolant, isolant ajouté après	Ossature bois 2x10 avec isolant, isolant ajouté par après	Ossature bois 2x10 avec isolant, isolant ajouté par après	Ossature bois 2x10 avec isolant, isolant ajouté par après
RSI <sub>tot</sub> [m² K/W]	2.20	3.22	5.25	7.22
RSI <sub>eff</sub> [m² K/W]	2.23	3.37	5.41	7.5

Remarque importante, la résistance thermique effective est plus élevée que la résistance thermique totale ici parce que dans les assemblages d'ÉVAL-ISO, un seul film d'air est attribué à l'assemblage au complet au côté intérieur (la lame d'air extérieur est supposée avoir une résistance thermique de zéro). Dans la simulation énergétique, la résistance thermique des films d'air est présente des deux côtés de la toiture et du plafond en-dessous de l'entretoit, ce qui augmente la valeur de la résistance thermique effective de l'assemblage.

Explications pour certaines couches :

- Pour la couche représentant l'ossature bois avec isolant, l'épaisseur a été prise à 235 mm

(épaisseur nominale d'un poteau 2"x10"). Le pourcentage de la surface occupé par les poteaux de bois a été pris égal à 13 % (MERN, 2021, Tableau 4). Les propriétés thermiques sont celles des couches G04 (bois) et I04 (Isolant) du *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 2021b).

- La présence d'isolant dans l'ossature est basée sur la période de construction et les indications dans le guide d'ÉVAL-ISO.
- Quand la résistance thermique totale est plus élevée que celle de la construction de base, on suppose la présence de plus d'isolation, qui aura été mise en place pendant des rénovations. Pour simplifier, on suppose que l'isolant a été ajouté par-dessus la construction existante (à l'intérieur) pour tous les assemblages et que la construction originale n'a pas été touchée.

#### 5.2.3.5 Murs mitoyens

Pour garder la simplicité, les murs mitoyens auront la même construction que les murs extérieurs. Comme les murs sont supposés être adiabatiques, le choix de construction pour cette paroi aura peu d'impact sur la simulation.

#### 5.2.4 Infiltration

Pendant les évaluations d'ÉVAL-ISO, le niveau d'étanchéité à l'air du bâtiment est déterminé par un essai d'infiltrométrie. Le rapport donne une valeur moyenne de  $ACH_{50}$  par période de construction. Dans la version précédente des archétypes résidentiels, l'infiltration était basée sur des informations données dans la base de données d'EnerGuide. Une incohérence a été remarquée dans les valeurs d'infiltration inscrites dans cette base de données, qui a mené à utiliser les valeurs données par ÉVAL-ISO.

La modélisation de l'infiltration dans un bâtiment résidentiel est généralement faite en utilisant le modèle Sherman-Grimsrud (1980), qui détermine le taux d'infiltration à partir de l'*Effective Leakage Area* à 4 Pa ( $ELA_4$ ). Le modèle est donné dans l'ASHRAE Fundamentals Handbook comme modèle de base (ASHRAE, 2021a) et permet de calculer un taux d'infiltration selon l'équation suivante :

$$Q_{inf} = \frac{ELA_4}{1000} \sqrt{C_s \Delta T + C_w U^2} \quad (1)$$

Avec :

$Q_{inf}$  : le taux d'infiltration

$ELA_4$  : Effective Leakage Area à 4 Pa

$C_s$  : un coefficient d'effet de cheminée

$\Delta T$  : la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur

$C_w$  : un coefficient d'effet du vent

$U$  : la vitesse du vent

Une conversion de la valeur moyenne de  $ACH_{50}$  à une valeur de « *Effective Leakage Area* » à 4 Pa ( $ELA_4$ ) est nécessaire pour pouvoir rentrer la valeur dans l'équation. La conversion est faite en utilisant les dimensions d'un duplex « moyen ». Il faut inclure le coefficient de décharge qui est supposé être 0.65.

#### 5.2.5 Masse thermique

La modélisation de la masse thermique dans les zones thermiques est importante pour tenir compte de la capacité thermique des objets qui se trouvent dans une espace en réalité, mais qui ne sont pas modélisés explicitement, comme les meubles et les partitions intérieures.

Les meubles seront représentés par un objet de masse thermique en bois de 40 kg/m<sup>2</sup>, comme recommandé par Building America (Wilson et al., 2014). Les propriétés du bois peuvent être consultées dans la base de données des assemblages de construction.

On ajoute également des objets de masse thermique pour représenter les partitions intérieures. On suppose une superficie d'échange de 80 m<sup>2</sup> par étage avec des propriétés d'un paroi de mur intérieur. Les murs intérieurs sont composés d'ossature 2" x 4" et des panneaux de gypse de chaque côté. Les propriétés des matériaux peuvent être consultés dans la base de données des assemblages de construction.

## 5.3 Systèmes CVCA

Les archétypes sont équipés avec les équipements les plus répandus dans les duplex ou triplex québécois. Tous les équipements du système CVCA sont dimensionnés automatiquement en utilisant la fonction « *Auto Sized* » d'EnergyPlus, pour les conditions de design de Montréal.

### 5.3.1 Chauffage des espaces

La grande majorité des bâtiments au Québec sont chauffés principalement à l'électricité, et les plinthes électriques sont le type de système le plus courant. On retrouve ces informations dans les statistiques provinciales du CEUD (RNCAN-OEE, s. d.), ainsi que dans les réponses au questionnaire de l'outil de performance énergétique (OPE) d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2023). Plus de 70 % des duplex/triplex des clients qui ont répondu au questionnaire ont des plinthes électriques pour le chauffage des espaces.

Les archétypes seront donc équipés des plinthes électriques pour le chauffage des espaces. Dans le logiciel EnergyPlus, plusieurs options sont à disposition pour modéliser des plinthes électriques. Pour ce modèle, des plinthes 100 % convectives sont utilisés. Il est possible de modéliser des plinthes avec une fraction radiative spécifié par l'utilisateur, mais la fraction radiative est difficile à estimer. De plus, l'utilisation de ce composant augmente le temps de calcul et l'impact sur les résultats de simulation est limité (Kang & Strand, 2010).

### 5.3.2 Climatisation des espaces

Selon les réponses au questionnaire d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2023), la majorité des duplex/triplex disposent d'une climatisation active des espaces. 70 % des duplex/triplex des clients qui ont répondu au questionnaire ont de la climatisation, et plus que la moitié des systèmes cités sont des climatiseurs de fenêtre. Le reste sont principalement des climatiseurs muraux. Vu que les climatiseurs muraux et les unités de fenêtre ont un fonctionnement similaire, ils sont considérés fonctionner de la même façon. L'archétype présenté sera donc équipé d'une climatisation de ce type.

Dans EnergyPlus, la modélisation est faite en utilisant l'objet « *Packaged Terminal Air Conditioner* », qui est placé dans la zone principale sur les étages hors sol. Ce type de climatiseur est souvent installé dans seulement une ou quelques pièces de la maison où le conditionnement de l'air est le plus important pour le confort des occupants. Avec un modèle avec une seule zone thermique par étage, comme dans la présente étude, l'impact d'imposer la charge de climatisation sur un étage au complet pourrait avoir un impact important sur les résultats de simulation.

Le coefficient de performance (COP) nominal du climatiseur est 2.5. Pour les autres paramètres de simulation, on garde les valeurs par défaut d'un modèle de climatiseur donné dans OpenStudio sous le nom « *Cycling PTAC DX Clg Elec Htg* ».

### 5.3.3 Extraction d'air vicié et ventilation mécanique

Le modèle actuel ne prend pas en compte l'extraction d'air vicié dans le bâtiment, et pour les bâtiments existants, aucun système de ventilation mécanique n'est modélisé.



Le code du bâtiment actuellement en vigueur au Québec pour les petits bâtiments résidentiels impose l'utilisation d'une ventilation mécanique, au minimum utilisée pendant la saison de chauffe (CNRC-RBQ, 2022). La section 9.32.3 présente la méthode la plus simple de conformité. Elle donne des débits d'extraction requis en fonction du nombre de chambres dans le logement – ces débits remplacent l'exigence d'assurer un renouvellement d'air de 0.3 CAH (changements d'air par heure) qui était présente dans d'anciennes éditions du code. La section 9.32.3 impose également la présence d'un ventilateur récupérateur de chaleur (VRC) avec une efficacité sensible minimale de 54 % à 60 % selon la zone climatique, ce qui est une modification par rapport au code du bâtiment du Canada de 2015 (CNRC-RBQ, 2022).

Pour les maisons neuves, une ventilation mécanique répondant à ces exigences du code est modélisée, en choisissant la valeur médiane du débit au tableau 9.32.3.3, c'est-à-dire 20 L/s, 23 L/s, 27 L/s, 32 L/s et 37.5 L/s pour respectivement 1, 2, 3, 4, et 5 chambres.

Pour les maisons récentes, une option simple serait de modéliser une ventilation mécanique avec un débit assurant un taux de renouvellement d'air de 0.3 CAH et un ventilateur récupérateur de chaleur avec une efficacité de 50 %. Bien que ces valeurs ne correspondent pas exactement à un code en vigueur au Québec, elles sont inspirées du taux de 0.3 CAH présent dans d'anciennes versions du code du bâtiment (Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, 2018, p. 544) et des exigences d'efficacité du Code Modèle National de l'Énergie pour les Bâtiments de 1997, qui ne s'appliquait pas aux petits bâtiments mais plutôt aux grands bâtiments à logements multiples (Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, 1997).

#### 5.3.4 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 à appliquer un pourcentage d'ouverture des fenêtres en fonction des températures 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 de la racine 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 ajouté une 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 le soir et pendant la nuit. Nous considérons que l'ouverture de fenêtres est, au maximum 70 % de leur surface, mais que la plupart du temps (hiver) elle est inférieure à 25 %.

La stratégie de régulation protège de certaines situations avec les règles suivantes. La ventilation naturelle n'est pas utilisée :

- Si la température intérieure est de moins de 21 °C
- Si la température intérieure est 3 °C de moins que la température extérieure
- Si la température extérieure est de moins de 18 °C

### 5.4 Données pour les usages non-reliés au chauffage et à la climatisation

#### 5.4.1 Charges d'éclairage et des équipements

Des données diverses ont été analysés par le LTE (Sansregret, 2024a) et des profils de charge

ont été établis pour les grands appareils ménagers en plus de l'éclairage et de la charge de base des « autres » équipements. Un objet permet de définir la charge de base, qui sera modulé par un horaire fractionnel.

Pour les duplex et triplex, les charges obtenues par le LTE représentent ceux d'une unité (ou un étage) dans le bâtiment. Chaque étage du bâtiment aura donc sa propre définition de chaque type de charge. Le Tableau 5 résume les définitions des charges.

Tableau 5 : Résumé des charges d'éclairage et des équipements

Type d'équipement	Puissance Maximale [W]	Consommation annuelle [kWh]
Réfrigérateur	97.3	535
Congélateur	24.9	150
Lave-vaisselle	45.3	58
Four/cuisinière	273.5	319
Laveuse	35.3	34
Sècheuse	351.9	492
Éclairage intérieur	181.0	344
Éclairage extérieur	7.2	30
Autres	588.7	1780

La somme des consommations annuelles est de 3742 kWh/an, ce qui est en-dessous de la consommation pour les appareils et l'éclairage donnée pour les appartements au Québec dans le CEUD, qui est de l'ordre de 4500 kWh/an (RNCAN-OEE, s. d., Tableau 39).

#### 5.4.2 Charges liées à l'eau chaude domestique

Une décision a été prise d'inclure directement la consommation électrique liée à la consommation d'eau chaude domestique au lieu d'implémenter un modèle physique du chauffe-eau avec un profil de soutirage d'eau.

Le profil horaire de la charge électrique provient des documents préparés par le LTE (Sansregret, 2024b). Le profil mis en œuvre représente un comportement moyen « adouci », qui ne représente pas les pointes ponctuelles associées à la régulation on-off des éléments électriques des chauffe-eau mais permet de représenter une consommation moyenne.

Il est possible de spécifier la fraction de la charge qui sera transformée en charge latente, radiante ou convective, ainsi que la fraction de la charge qui est « perdue » et ne sera donc pas transformée en gains internes. On suppose que 99% de la charge est perdue, et que le reste est converti en charge convective.

La consommation annuelle liée à l'eau chaude domestique est 2675 kWh et la puissance maximale est de 781 W.

#### 5.4.3 Occupants

L'horaire de présence suit le même profil qui a été établi dans l'étude des maisons unifamiliales (Vanroy & Kummert, 2023). Un niveau d'activité moyen, correspondant à des gains thermiques de 130 W/personne pendant la journée et 75 W/personne pendant la nuit (de 23h à 7h). Ces gains comprennent la charge latente.

Pour la simulation, on utilise une valeur moyenne de 2.27 occupants par bâtiment, une valeur qui provient également de l'étude du LTE (Sansregret, 2024b).

## 5.5 Modèle final pour les résultats

### 5.5.1 Création automatisée de modèles avec Grasshopper

### Tableau 6 : 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 initiale
OpenStudio	Enrichissement avec données constructifs
OpenStudio	Enrichissement avec données utilisation et profils
OpenStudio	Créer des systèmes CVC
OpenStudio	Implanter des mesures additionnelles

- 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

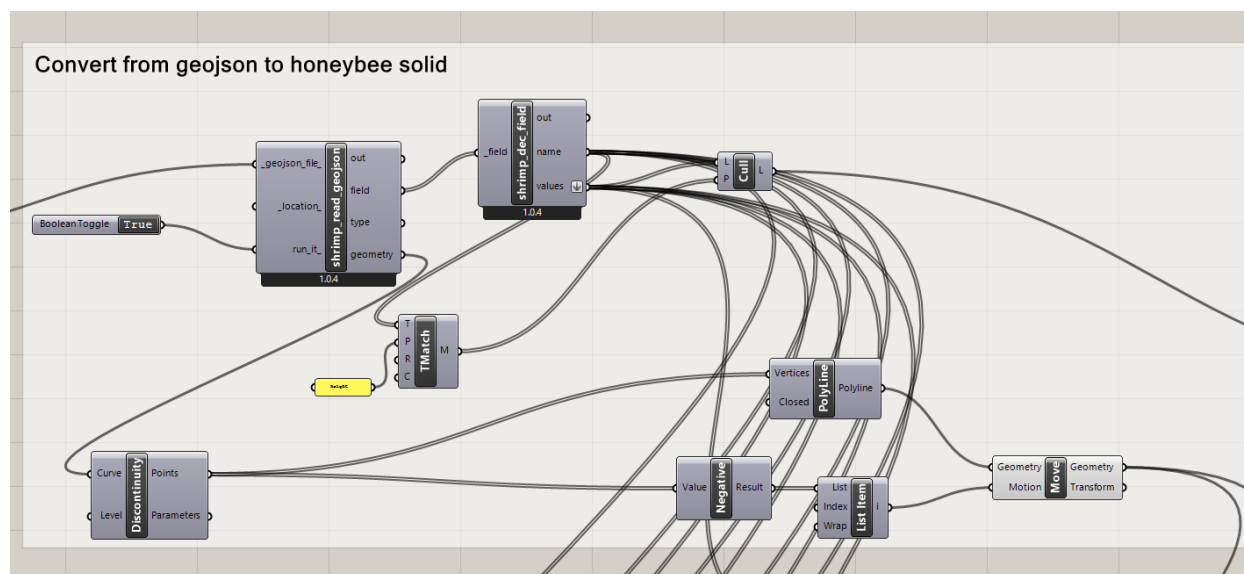


Figure 8: Étape a processus Grasshopper

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

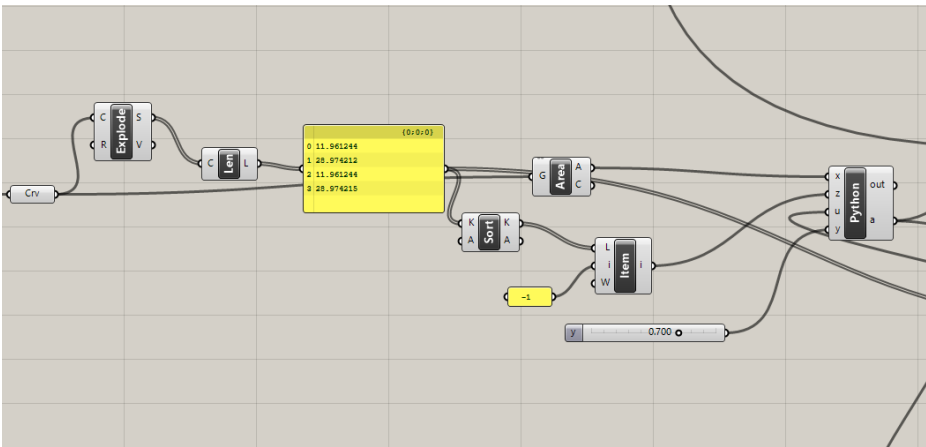


Figure 9: Étape b processus Grasshopper

c. la hauteur d'étage à étage sont définis pour le bâtiment :

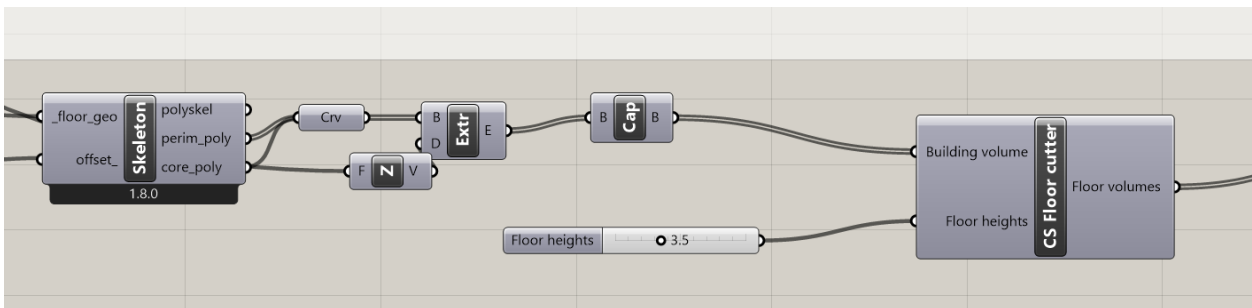
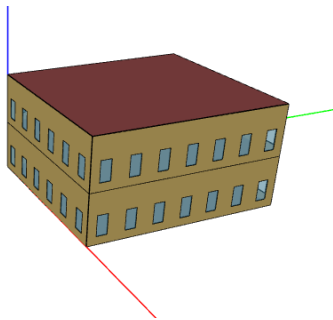


Figure 10: Étape c processus Grasshopper

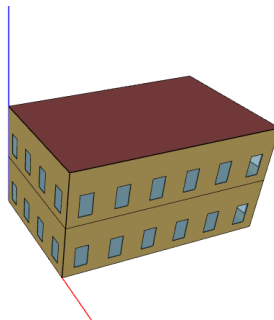
### 5.5.2 Modèles finals développés

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

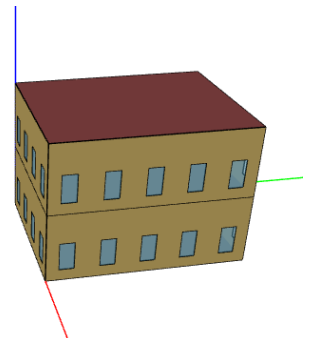
### Avant 1945



## 1945 à 2010



Après 2010



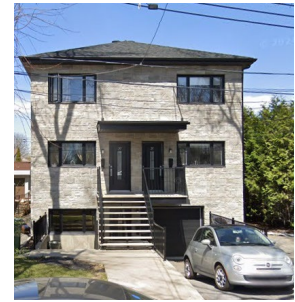
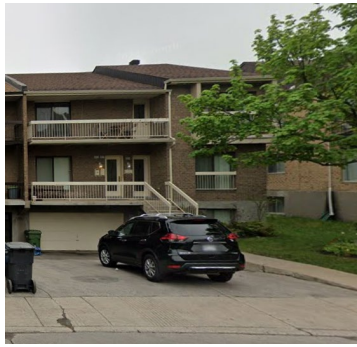
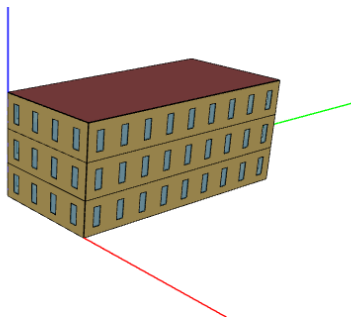
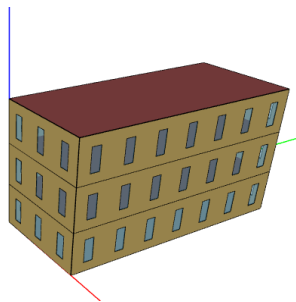


Figure 11: Modèles duplex-finaux

Avant 1945



1945 à 2010



Après 2010

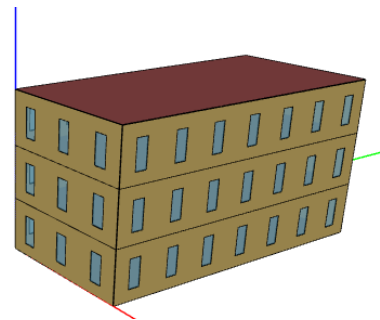


Figure 12: Modèles triplex-finaux

### 5.5.3 Création of sets constructifs

Les modèles constructifs ont été développés selon le chapitre 5.2.1.

## 6 Références

- ASHRAE. (2021a). Chap. 16 : Ventilation and infiltration. Dans *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (p. 16.1-16.39). American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2021b). Chap. 18 : Nonresidential cooling and heating load calculations. Dans *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- CNRC-RBQ. (2022). *Code de construction du Québec, Chapitre I : Bâtiment, et Code national du bâtiment : Canada 2015 (modifié)*. Conseil national de recherches du Canada; Régie du bâtiment du Québec. <https://doi.org/10.4224/jwqg-yz35>
- Code de construction—Régie du bâtiment du Québec*. (s. d.). Consulté 1 novembre 2023, à l'adresse <https://www.rbq.gouv.qc.ca/lois-reglements-et-codes/code-de-construction-et-code-de-securite/code-de-construction/>
- Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies. (1997). *Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments : Canada : 1997*. Conseil national de recherche du Canada. <https://doi.org/10.4224/40001261>
- Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies. (2018). *Guide illustré de l'utilisateur : CNB 2015 : Maisons et petits bâtiments (Partie 9 de la division B)*. Conseil national de recherche du Canada. <https://doi.org/10.4224/40002026>
- Hydro-Québec. (1993). *Projet ÉVAL-ISO - Guide du formulaire d'enquête*. Hydro-Québec.
- Hydro-Québec. (1994). *Projet ÉVAL-ISO - Rapport final sur le potentiel d'amélioration de l'enveloppe thermique des habitations du Québec*. Hydro-Québec.
- Hydro-Québec. (2023, août). *Données de l'outil de performance énergétique (OPE) et de données de consommation des clients résidentiels*. Communication personnelle.
- Institut de Villes de Nouvelle Génération. (2023). *Document sur les archétypes des bâtiments résidentiels multi logement à Québec*. Université Concordia.
- Kang, D., & Strand, R. (2010). A new model for calculating the convective and radiant impact of radiators and baseboards in EnergyPlus. *Proc. of SimBuild 2010, Fourth National Conference of IBPSA-USA*, 185-192.
- LTE. (2016). *Plan et devis des maisons d'expérimentation en énergétique du bâtiment (MEEB)*. Laboratoire des Technologies de l'Énergie, Hydro-Québec.
- MERN. (2021). *Novoclimat—Exigences techniques—Maison et petit bâtiment multilogement*. Ministère de l'énergie et des ressources naturelles, gouvernement du Québec.
- RNCan-OEE. (s. d.). *Base de données complète sur la consommation d'énergie*. Ressources Naturelles Canada, Office de l'Efficacité Énergétique. Consulté 20 février 2024, à l'adresse [https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/tableaux\\_complets/liste.cfm](https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/tableaux_complets/liste.cfm)
- Sansregret, S. (2024a). *Description des profils de charge autre que CVCA*. Hydro-Québec.
- Sansregret, S. (2024b). *Profils de consommation électrique hors CVCA tirés de l'OPE (OPE dataset baseline) (Version v1.0) [Dataset]*. Hydro-Québec.
- Vanroy, K., & Kummert, M. (2023). *Développement d'archétypes pour un modèle de parc virtuel québécois : Maisons unifamiliale*. Polytechnique Montréal.
- Wilson, E., Engebrecht Metzger, C., Horowitz, S., & Hendron, R. (2014). *2014 Building America House Simulation Protocols (NREL/TP-5500-60988) (Numéro December)*. National Renewable Energy Laboratory.

.





NEXT-GENERATION  
CITIES INSTITUTE



**POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL**

UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE