

# Développement d'archétypes pour un modèle de parc virtuel québécois : maisons unifamiliales

Exploration des méthodologies à appliquer dans le développement des archétypes et présentation d'un premier archétype pour une maison détachée avec un étage

Kato Vanroy, Professionnelle de recherche, M.A.Sc.  
Michaël Kummert, professeur titulaire, ing., M.Sc., Ph.D.

Révision : 2023-10-31

Département de Génie Mécanique  
Polytechnique Montréal

michael.kummert@polymtl.ca

**POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL**



# Table des matières

Table des matières.....	i
Nomenclature .....	iii
1. Contexte et objectifs de l'étude.....	4
2. Méthodologie.....	5
2.1. Sources de données .....	5
2.2. Logiciel de simulation .....	6
3. Détermination des typologies .....	6
3.1. Partitionnement de données .....	7
3.1.1. Partitionnement avec $n = 6$ .....	7
3.1.2. Partitionnement avec $n = 8$ .....	9
3.1.3. Typologies sélectionnées .....	11
4. Caractérisation du premier archétype .....	13
4.1. Géométrie du bâtiment.....	13
4.1.1. Forme du bâtiment .....	13
4.2. Propriétés des parois opaques .....	14
4.2.1. Propriétés radiatives .....	14
4.2.2. Propriétés thermiques.....	15
4.2.3. Infiltration.....	19
4.3. Propriétés de la fenestration .....	20
4.4. Système CVCA .....	20
4.4.1. Chauffage des espaces .....	20
4.4.2. Climatisation des espaces .....	21
4.4.3. Extraction d'air vicié et ventilation mécanique .....	21
4.5. Eau chaude domestique .....	21
4.5.1. Profil de consommation .....	21
4.5.2. Modélisation du chauffe-eau .....	22
4.6. Charges d'éclairage et des équipements .....	23
4.6.1. Analyse des données d'Hydro-Québec et établissement d'un horaire .....	23
4.6.2. Valeurs nominales pour les charges.....	25
4.7. Occupants .....	26
5. Résultats et comparaison avec les données disponibles .....	27
6. Discussion et Conclusion .....	29

7. Références .....	31
---------------------	----

# Nomenclature

ASHRAE	American society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers
CEUD	<i>Comprehensive Energy Use Database</i> (Base de données complète sur la consommation d'énergie de Ressources Naturelles Canada)
COP	Coefficient de performance
CVCA	Chauffage, ventilation et conditionnement d'air (parfois connu comme CVAC)
CWEC	<i>Canadian Weather for Energy Calculations</i>
EGHD	<i>EnerGuide for Housing Database</i> (Base de données compilée par Ressources Naturelles Canada à partir des évaluations énergétiques du programme ÉnerGuide)
FMCEG	Fichiers météorologiques canadiens pour l'énergie et le génie
MELCCFP	Ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs
GES	Gaz à effet de serre
HQ	Hydro-Québec
SFE	Surface équivalente de fuite ( <i>Equivalent Leakage Area</i> , ELA). Cette surface est typiquement calculée à une différence de pression de 10 Pa au Canada et ne doit pas être confondue avec la surface de fuite équivalente ( <i>Effective Leakage Area</i> , ELA) utilisée aux États-Unis qui est calculée avec un coefficient de décharge différent et à une différence de pression de 4 Pa.
SHEU	<i>Survey of household energy use</i> (Enquête sur l'utilisation de l'énergie par les ménages, EUÉM)
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient (coefficient de gain de chaleur solaire), coefficient sans dimension qui indique la fraction de l'énergie solaire incidente sur une fenêtre qui se retrouve dans le bâtiment
U-Value	Valeur U, coefficient de déperditions thermiques, exprimé en $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ .

# 1. Contexte et objectifs de l'étude

Dans le cadre des activités en lien avec la transition énergétique, le ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs (MELCCFP) souhaite disposer d'un outil capable d'analyser l'impact de mesures d'efficacité énergétique, de réglementations ou de programmes de subventions sur la consommation d'énergie, la demande de pointe, et les émissions de gaz à effet de serre (GES).

L'outil en question est un parc virtuel qui sera représentatif des bâtiments commerciaux, institutionnels et résidentiels du Québec. Il sera donc possible, grâce à des simulations et des mesures d'automatisation, de faire des analyses de consommation énergétique et d'appel de puissance.

L'outil sera basé sur des modèles de bâtiments représentatifs d'une certaine typologie d'usage, par exemple une école, un restaurant, un bâtiment multi-résidentiel. Ces modèles représentatifs, ou archétypes, représenteront dans l'outil de parc virtuel l'ensemble des bâtiments correspondant à la typologie d'usage ciblée. Les archétypes incluront la géométrie du bâtiment, ses caractéristiques d'usage (horaires et densités d'occupation), les propriétés thermiques de l'enveloppe, ainsi que le type et les caractéristiques des systèmes de chauffage, ventilation, et conditionnement d'air (CVCA). Le nombre d'archétypes nécessaires pour représenter une typologie fait partie des questions de recherche du projet.

La présente étude s'inscrit dans le cadre de ce projet plus large de développement d'archétypes. Elle présente une exploration des méthodologies à appliquer dans le développement des archétypes et le développement d'un premier archétype pour les maisons unifamiliales, des bâtiments caractérisés par une structure indépendante occupée par une seule famille. Les duplex et triplex, fréquents au Québec, ne sont donc pas couverts par la présente étude.

Les objectifs spécifiques de l'étude étaient de déterminer le nombre d'archétypes requis pour représenter les maisons unifamiliales et d'établir des typologies pour chacun de ces archétypes. Après l'obtention des informations sur les typologies, un premier archétype est créé pour une seule typologie, constitué par une définition d'un modèle thermique de l'enveloppe du bâtiment, des caractéristiques liées à l'occupation et une implémentation du système CVCA.

Le présent rapport accompagne l'archétype développé. Il décrit l'approche suivie, les données utilisées et les paramètres sélectionnés, ainsi qu'une discussion sur les limitations du modèle actuel et une ébauche des étapes à parcourir pour le développement de futurs archétypes pour les maisons unifamiliales.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Sources de données

La principale source de données utilisée pour la caractérisation des maisons unifamiliales est une base de données développée par Ressources Naturelles Canada (CanmetÉnergie) avec des objectifs similaires au projet en cours de développer un parc virtuel pour les bâtiments existants au Canada (Asaee, 2022). L'approche choisie est cependant différente, puisque le nombre « d'archétypes » utilisés est largement plus grand – la base de données actuelles comprend ainsi total de 6000 bâtiments représentatifs, dont 1600 se trouvent au Québec. Le projet visait à obtenir des modèles qui représentent le plus les bâtiments au Canada avec des modèles énergétiques basés sur des vrais bâtiments développés dans le logiciel Hot2000 (RNCAN, 2023) avec des variations selon les régions du Canada. Les modèles de Hot2000 ont été sélectionnés en utilisant des données de plusieurs sources (Asaee, 2022) :

- La base de données complète sur la consommation d'énergie, connue comme CEUD (*Comprehensive Energy Use Database*) de Ressources Naturelles Canada (RNCAN-OEE, n.d.)
- L'Enquête sur l'utilisation de l'énergie par les ménages (EUÉM), connue comme SHEU (*Survey of Household Energy Use*), qui fait partie de la base de données nationale sur la consommation d'énergie (BNCÉ) (RNCAN, n.d.)
- Les données du recensement de la population de 2016 (StatsCan, n.d.)
- La base de données « Énergide pour les maisons », connue comme la « *EnerGuide for Housing Database* (EGHD) ».

Cette dernière base de données (EGHD) a été compilée par Ressources Naturelles Canada à partir des évaluations énergétiques du programme ÉnerGuide. Elle comprend plus de 2 millions d'enregistrements d'audits énergétiques des bâtiments existants au Canada, et elle représente la source la plus exhaustive de données détaillées de performance thermique pour la modélisation énergétique. Le défi principal de l'utilisation de l'EGHD et que la participation au programme ÉnerGuide est sur une base volontaire, ce qui nuit à sa représentativité statistique. CanmetÉnergie a donc extrait un sous-ensemble de données représentatives du Canada en utilisant l'approche développée par Swan et al. (2009). La méthode repose sur un échantillonnage qui essaie de faire correspondre la distribution statistique avec celle d'une base de données qui est statistiquement représentative du Canada, comme le SHEU. Le format de la base de données développée par CanmetÉnergie est une collection de modèles énergétiques dans HOT2000. Les caractéristiques des archétypes choisies sont également disponibles sous forme de tableau (CanmetENERGY, 2022), permettant d'analyser les caractéristiques d'une manière compréhensive. Pour cette étude, seuls les bâtiments qui se trouvent au Québec ont été sélectionnés pour l'analyse.

Une deuxième source, fournie par Hydro-Québec dans le cadre de la présente étude, est une collection de profils de consommation électrique de maisons individuelles, qui sont liés à des réponses à un questionnaire sur les éléments clés qui caractérisent la maison (Hydro-Québec, personal communication, August 2023).

## 2.2. Logiciel de simulation

Le logiciel utilisé pour définir les modèles énergétiques sont SketchUpPro v23.1.329 pour définir la géométrie du bâtiment et OpenStudio v.3.5.1 pour définir tous les autres aspects du modèle. OpenStudio utilise EnergyPlus (v.22.2) comme moteur de modélisation.

## 3. Détermination des typologies

Un premier objectif de l'étude est de déterminer le nombre d'archétypes nécessaire pour représenter l'ensemble des maisons unifamiliales et les typologies correspondantes. Pour établir des typologies, on se base sur la base de données de CanmetÉnergie (2022).

Un des facteurs qui influencent le profil de consommation d'une maison est sa configuration géométrique : rapport longueur / largeur, nombre d'étages, et nombre de parois mitoyennes. La Figure 1 montre les types de maisons rencontrés et leur nombre d'étages. Les maisons détachées représentent la plus grande partie des maisons unifamiliales (82 %), avec une répartition presque égale entre des maisons avec un seul étage et deux étages. Les maisons semi-détachées représentent 12 % de l'ensemble, avec une majorité ayant deux étages. On retrouve ensuite les maisons en rangée, qui ensemble représentent 6 % des maisons unifamiliales et qui ont également en majorité deux étages.

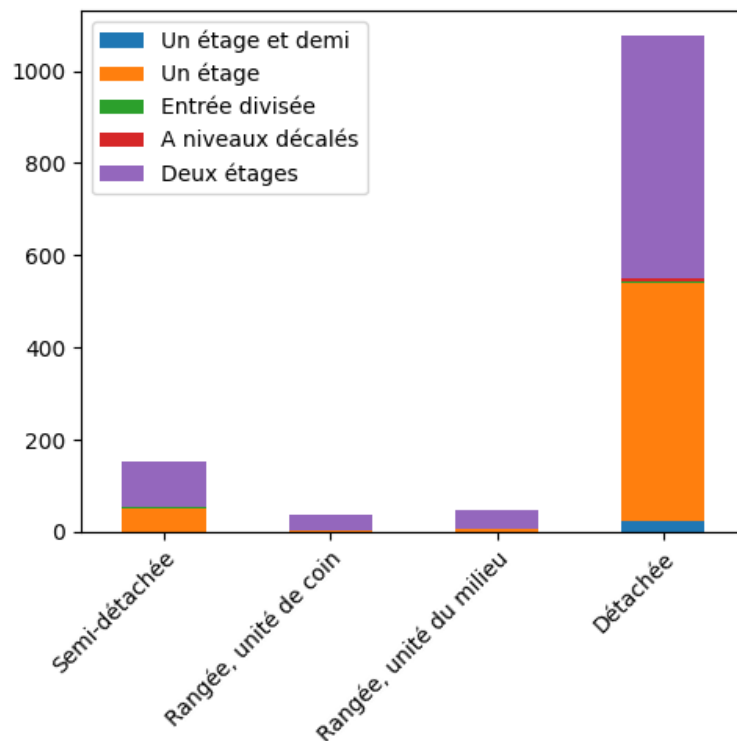


Figure 1 : Le nombre de bâtiments par type de construction, avec distinction de nombre d'étages

Ces catégories nous indiquent les types de maisons qui sont les plus courants au Québec, mais ne donnent pas assez d'informations pour créer des archétypes pour la simulation énergétique de l'ensemble des maisons unifamiliales. Dans le but de mieux catégoriser les bâtiments, le partitionnement de données est utilisé pour retrouver des typologies plus détaillées et extraire leurs caractéristiques pertinentes pour la modélisation.

### 3.1. Partitionnement de données

Le partitionnement de données (*Data Clustering* en anglais) vise à mettre ensemble des données avec de caractéristiques communes dans le but de créer des groupes des caractéristiques « homogènes ». L'approche permet d'établir des typologies d'une façon plus compréhensive qu'une analyse manuelle.

L'application de partitionnement de données dans cette étude est basée sur la méthodologie décrite par De Jaeger et al. (2020). Les étapes suivies sont comme suit :

1. Les variables pour le clustering sont sélectionnées :
  - a. Le type de maison, le nombre d'étages, l'année de construction, le volume du bâtiment, le niveau de fenestration et le niveau d'isolation des murs extérieurs
2. Les variables sont normalisées (pour éviter une pondération non souhaitée) avec un « *MinMaxScaler* »
3. Le partitionnement de données est appliqué avec l'algorithme choisi : « *K-Means* »
4. Analyse des résultats

L'exécution du partitionnement de données a été mise en œuvre en Python avec l'utilisation de la librairie *Scikit-learn* (Pedregosa et al., 2011). Le nombre de regroupements désiré est donné a priori pour exécuter l'algorithme. Une analyse des résultats permet de déterminer la qualité des regroupements et s'ils représentent des typologies utilisables pour la simulation énergétique. Deux passages ont été exécutés, un avec un partitionnement dans 6 groupes ( $n = 6$ ), un autre avec un partitionnement dans 8 groupes ( $n = 8$ ).

#### 3.1.1. Partitionnement avec $n = 6$

Les résultats du premier partitionnement nous montrent déjà des choses intéressantes qu'on n'aurait pas retrouvé avec une approche manuelle. Par exemple, dans les bâtiments détachés avec deux étages, on voit des tendances assez différentes dans la taille des bâtiments construits avant 1980 et ceux construits après, comme montré dans la Figure 2. Les différences dans les autres caractéristiques, qui sont données dans le Tableau 1, sont également notables, démontrant la nécessité de deux typologies pour représenter les caractéristiques des bâtiments détachés avec deux étages.



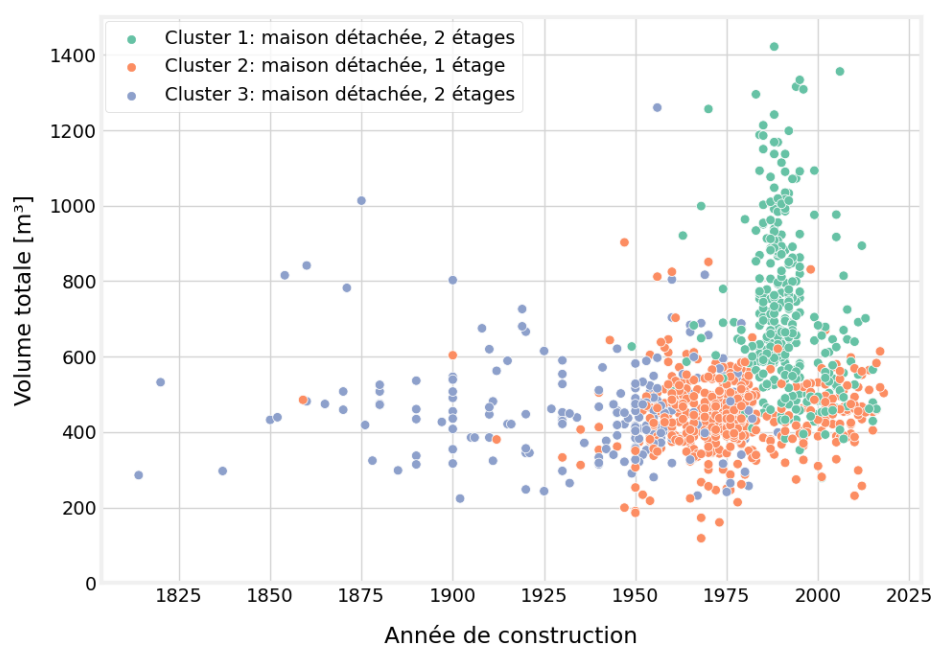


Figure 2 : L'année de construction et la taille (volume) des résidences détachées avec 1 et 2 étages, groupées par cluster (n=6)

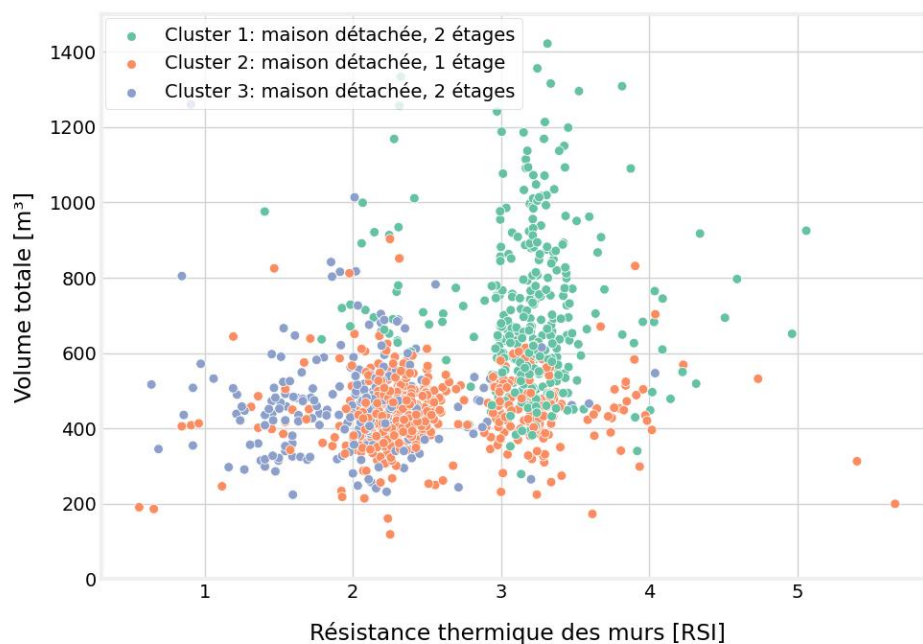


Figure 3 : La résistance thermique des murs extérieurs et la taille (volume) des résidences détachées avec 1 et 2 étages, groupées par cluster (n=6)

La Figure 2 montre également les bâtiments détachés avec un seul étage, qui sont regroupés dans un seul cluster. Cependant, quand on regarde le niveau d'isolation des murs de ce cluster, qui est montré sur la Figure 3 on retrouve visuellement deux groupes distincts avec des niveaux d'isolation différentes. Les clusters des bâtiments avec 2 étages en revanche ont bien capté la différence dans le niveau d'isolation dans leur regroupement. On pourrait bénéficier de faire plus de groupes, pour éviter que dans les bâtiments détachés avec un étage, ces deux périodes de construction soient mises ensemble.

Le Tableau 1 montre les caractéristiques du centroïde de chaque groupe obtenu dans le partitionnement de données. Les résultats du partitionnement avec  $n=6$  peuvent être comparés à ceux avec  $n=8$  dans la prochaine section.

Tableau 1 : Les caractéristiques des centroïdes pour chaque groupe obtenu dans le partitionnement de données avec  $n=6$

Cluster	Type	Nb. Étages	Année de construction	Pourcentage de fenestration	Résistance thermique des murs (RSI)	Volume du bâtiment (m <sup>3</sup> )	Fraction du stock (%)
1	Détaché	2	1990	12.5	3.2	700	26
2	Détaché	1	1975	14	2.6	450	40
3	Détaché	2	1940	11	2.0	460	16
4	Rangée	2	1975	19	2.75	430	5
5	Jumelée	2	1960	13	2.3	450	8
6	Jumelée	1	1980	16	2.7	350	5

### 3.1.2. Partitionnement avec $n = 8$

Si on augmente le nombre de groupes dans lequel les données sont repartitionnées, on obtient le résultat attendu pour le regroupement des bâtiments détachés avec un seul étage hors sol ; les bâtiments qui étaient regroupés dans le même cluster avant sont maintenant séparés dans deux groupes avec une claire distinction entre le niveau d'isolation de l'enveloppe, comme montré dans la Figure 4. La Figure 5 montre comment le niveau d'isolation est lié à la période de construction. On voit que le niveau d'isolation change autour de l'année 1980, ce qui est en parallèle avec les bâtiments avec deux étages, comme on a vu dans la Figure 2.

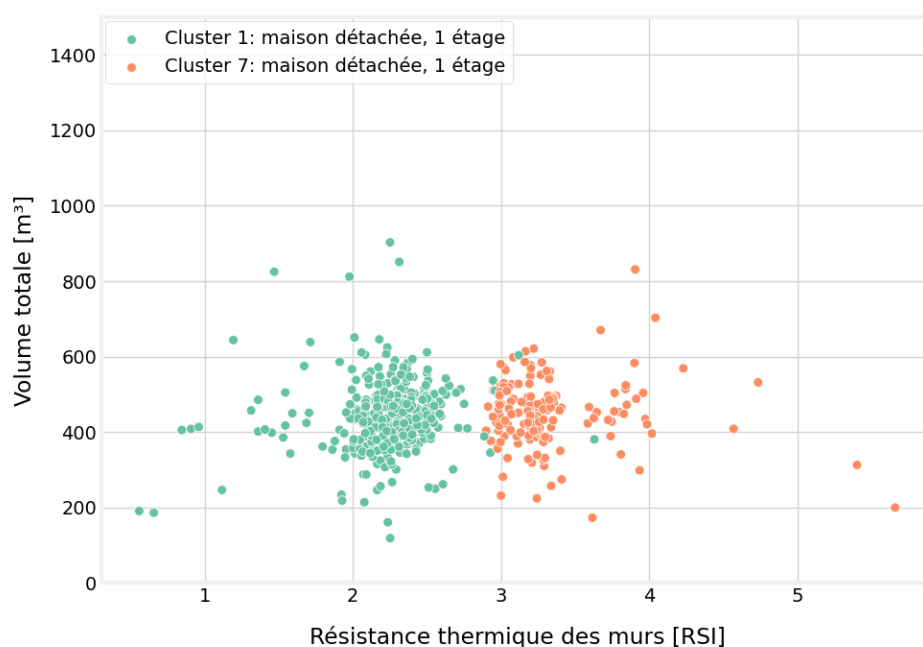


Figure 4 : La résistance thermique des murs extérieurs et la taille (volume) des résidences détachées avec 1 étage, groupées par cluster (n=8)

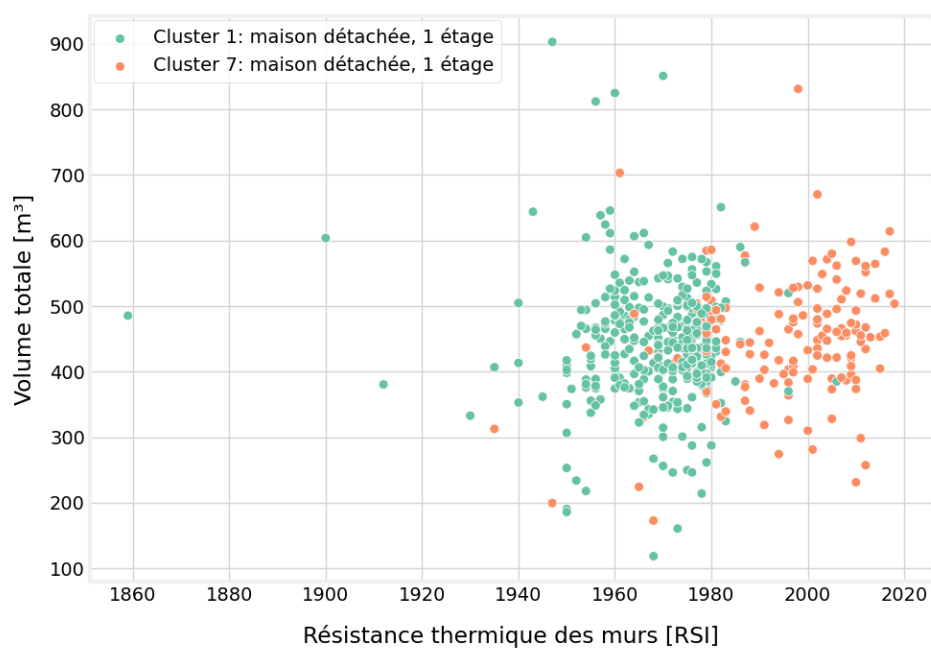


Figure 5 : L'année de construction et la taille (volume) des résidences détachées avec 1 étage, groupées par cluster (n=6)

Le Tableau 2 présente les résultats du partitionnement avec  $n = 8$ , et nous permet de comparer les caractéristiques des centroïdes de nouveaux groupes obtenus à ceux du partitionnement avec  $n = 6$ . Si on reste sur les bâtiments détachés avec un seul étage, on voit que les autres caractéristiques sont très semblables. Les caractéristiques géométriques (taille des bâtiments et leur superficie vitrée) sont comparables, ce qui explique pourquoi les bâtiments étaient regroupés dans le même cluster avant.

En revanche, il y a des changements dans le regroupement des autres typologies, où des nouveaux regroupements ont été créés qui ont presque les mêmes caractéristiques et n'ont donc pas besoin d'être regroupés. L'algorithme met le même poids sur toutes les variables incluses, même quand elles n'ont pas toutes la même importance pour la simulation énergétique ou que les typologies ne représentent qu'une petite fraction de l'ensemble de données.

Le traitement des données n'est donc pas encore optimal, et a besoin d'intervention humaine pour produire les résultats qui correspondent à nos objectifs, mais il nous permet d'extraire des informations pertinentes pour la catégorisation et de définir les typologies pour les archétypes.

Tableau 2 : Les caractéristiques des centroïdes pour chaque groupe obtenu dans le partitionnement de données avec  $n=8$

Cluster	Type	Nb. Étages	Année de construction	Pourcentage de fenestration	Résistance thermique des murs (RSI)	Volume du bâtiment (m <sup>3</sup> )	Fraction du stock (%)
1	Détaché	2	1990	12.5	3.2	720	25
2	Détaché	1	1970	14	2.2	450	27
3	Détaché	2	1940	11	2.0	460	15
4	Rangée	2	1975	19	2.75	430	5
5	Jumelée	2	1960	13	2.3	450	8
6	Jumelée	1	1980	16	2.6	350	5
7	Détaché	2	1965	13	2.6	460	3
8	Détaché	1	1995	14	3.3	450	12

### 3.1.3. Typologies sélectionnées

Après cette analyse, les typologies suivantes sont retenues pour représenter l'ensemble des maisons unifamiliales du point de vue énergétique. Il faut noter que pour le bâtiment détaché avec deux étages, on retrouve deux typologies géométriques différentes pour les deux périodes de construction. Ils auront besoin de deux archétypes distincts. Le bâtiment détaché avec un seul étage est également reparti en deux périodes de construction, mais les caractéristiques géométriques pour les bâtiments des deux périodes

sont assez similaires. On peut donc garder la même géométrie pour les deux archétypes. Pour représenter les deux périodes de construction dans les archétypes, uniquement les caractéristiques de l'enveloppe devront être changés.

Tableau 3 : Les caractéristiques des centroïdes pour chaque group obtenu dans le partitionnement de données avec n=8

Typologies	Type	Nb. Étages	Année de construction	Pourcentage de fenestration	Résistance thermique des murs (RSI)	Volume du bâtiment (m <sup>3</sup> )	Fraction du stock (%)
1	Détaché	2	1990	12.5	3.2	700	26
2	Détaché	1	1970	14	2.2	450	27
3	Détaché	2	1940	11	2.0	460	16
4	Rangée	2	1975	19	2.75	430	5
5	Jumelée	2	1960	13	2.3	450	8
6	Jumelée	1	1980	16	2.6	350	5
7	Détaché	1	1995	14	3.3	450	13

## 4. Caractérisation du premier archétype

Un premier archétype est développé avec deux variations. La forme est la même pour les deux et est conçue selon la typologie géométrique qu'on retrouve le plus au Québec, un bâtiment détaché avec un seul étage. Deux versions du modèle énergétique sont créées, une pour chaque période de construction. Les différences entre les deux versions résident uniquement dans les propriétés de l'enveloppe : les matériaux de construction et l'infiltration. Les prochaines sections détaillent les caractéristiques et les hypothèses retenues.

### 4.1. Géométrie du bâtiment

La base de données de CanmetENERGY donne beaucoup de détails sur la géométrie des bâtiments, y compris des informations sur la superficie plancher, la hauteur des étages, la hauteur et profondeur du sous-sol, la pente du toit, la fenestration et distribution des fenêtres selon les orientations.

#### 4.1.1. Forme du bâtiment

Pour le premier archétype on retrouve une superficie plancher de 180 m<sup>2</sup>, partitionnée en deux étages (un étage hors sol et le sous-sol). Avec des informations sur le périmètre des murs extérieurs, on peut déterminer le rapport hauteur/largeur du bâtiment, qui est de 1.6 pour le « bâtiment moyen ».

Le pourcentage de superficie de l'enveloppe occupée par la fenestration est en moyenne de 14 % pour cette typologie. Globalement, la distribution des fenêtres sur les 4 façades est inégale, et favorise un axe principal, par exemple Nord-Sud. On voit qu'en moyenne 65 % de la superficie vitrée se trouve sur cet axe principal, le reste de fenêtres se trouvent sur l'axe perpendiculaire (Est-Ouest dans cet exemple).

Environ 70 % des bâtiments de cette typologie ont un toit avec une pente de 3.33 : 10 (angle de 18.4°), c'est donc la pente utilisée dans l'archétype. La Figure 6 montre la géométrie du bâtiment qui en résulte.

Le modèle comprend une seule zone thermique par étage, il n'y a pas de zonage spécifique des espaces en raison d'un manque de données sur ce sujet.

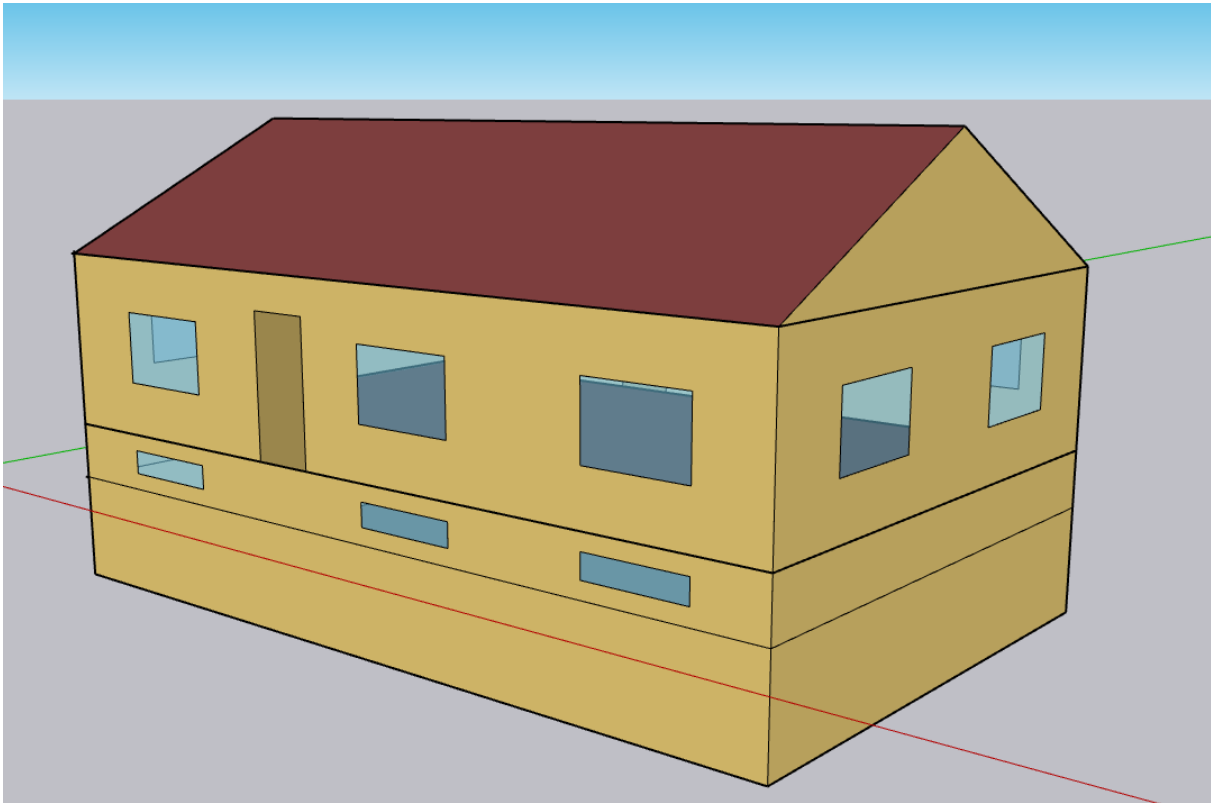


Figure 6 : Le modèle géométrique du bâtiment, généré dans SketchUp

## 4.2. Propriétés des parois opaques

Cette section donne les détails sur les propriétés de l'enveloppe. Deux variations de l'enveloppe du bâtiment sont créées pour encapsuler les différentes caractéristiques qu'on retrouve pour les deux périodes de constructions identifiées dans le partitionnement de données. On les appellera « Pre 1980 » et « Post 1980 », comme le changement de niveau d'isolation se concentre autour de cette année comme on a pu voir sur la Figure 5.

Dans les prochaines sections les propriétés des parois sont données. Les matériaux de construction sont les mêmes pour les deux périodes de construction, uniquement le niveau d'isolation change.

### 4.2.1. Propriétés radiatives

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 surface 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).

#### 4.2.2. Propriétés thermiques

Cette sous-section donne les propriétés thermiques des couches pour chaque type de parois de l'enveloppe du bâtiment. Vu qu'on suppose les mêmes matériaux pour les deux périodes de construction, et que donc uniquement la couche d'isolant change entre les deux versions, les informations sont présentées dans un seul tableau par parois avec deux épaisseurs d'isolant différents pour les parois avec un niveau d'isolation différents.

Note : les couches d'étanchéité à l'eau, à l'air et à la vapeur (films plastiques et membranes) sont négligées

##### 4.2.2.1. Dalle du sous-sol

La dalle du sous-sol est supposée être non-isolée, en béton lourd (LTE, 2016).

Tableau 4 : Propriétés thermiques de la dalle du sous-sol

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Béton lourd	152.4 (6'')	1.95	900	2240	Épaisseur et propriétés (ASHRAE, 2021b, couche M14)

##### 4.2.2.2. Murs du sous-sol

Les murs du sous-sol sont en béton avec une isolation par l'intérieur (LTE, 2016).

Tableau 5 : Propriétés thermiques des murs du sous-sol – de l'extérieur vers l'intérieur

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Crépi	5	0.071	840	1860	<b>Sur partie hors-sol seulement,</b> (LTE, 2016)
Béton lourd	203.2 (8'')	1.95	900	2240	Épaisseur et propriétés (ASHRAE, 2021b, couche M15)
Panneau isolant	50.8 (2'')	0.03	1210	43	Épaisseur et propriétés (ASHRAE, 2021b, couche I02)
Lame d'air	19 (0.75'')	$R_{SI} = 0.15 \text{ m}^2 \text{K W}^{-1}$			Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (MERN, 2021)
Panneau de gypse	12.7 (0.5'')	0.16	1090	800	Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (ASHRAE, 2021b, couche G01)



#### 4.2.2.3. Murs extérieurs

Les murs extérieurs sont à ossature bois (poteaux de 140 mm, ou 6'' nominal) avec un revêtement en bardage de vinyle.

Tableau 6 : Propriétés thermiques des murs extérieurs – de l'extérieur vers l'intérieur

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Bardage de vinyle	9.5	0.086	1000	200	Voir explications
Lame d'air	19 (0.75'')	$R_{SI} = 0.15 \text{ m}^2 \text{K W}^{-1}$			Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (MERN, 2021)
Contreplaqué	15.9 (5/8'')	0.12	1210	544	(ASHRAE, 2021b, couche G02)
Ossature bois avec isolant	89 (3.5'')	0.072	1572	165	Voir explications
Panneau isolant Pre1980 Post1980	20 (0.08'') 63.5 (0.25'')	0.046	960	19	(ASHRAE, 2021b, couche I04)
Lame d'air	19 (0.75'')	$R_{SI} = 0.15 \text{ m}^2 \text{K W}^{-1}$			Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (MERN, 2021)
Panneau de gypse	12.7 (0.5'')	0.16	1090	800	Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (ASHRAE, 2021b, couche G01)

Explications pour certaines couches :

- Pour le bardage de vinyle, la résistance thermique effective est de  $0.11 \text{ m}^2 \text{K W}^{-1}$  pour une épaisseur de 9.5 mm (ASHRAE, 2021c; MERN, 2021), soit une conductivité thermique équivalente de  $0.086 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ . La chaleur spécifique du vinyle vaut  $1000 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$  (ASHRAE, 2021c). La densité équivalente du bardage n'est pas indiquée dans ces références, une valeur de  $200 \text{ kg/m}^3$  a été estimée sur la base d'une masse de  $\approx 20 \text{ kg}$  par  $10 \text{ m}^2$  renseignée par différents fournisseurs.
- Pour la couche représentant l'ossature bois avec isolant, l'épaisseur a été prise à 89 mm (épaisseur nominale d'un poteau 2''x4''). 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).

Au lieu du bardage en vinyle, le mur extérieur peut avoir un parement en briques.

Tableau 7 : Couche alternative pour le revêtement extérieur des murs

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Brique	101.6 (4")	0.89	790	1920	(ASHRAE, 2021b)

## 4.2.2.4. Plafond en-dessous de l'entretoit

Le plafond est à ossature bois avec des 2 x 10, avec de l'isolant à l'intérieur

Tableau 8 : Propriétés thermiques du plafond de l'entretoit – du haut vers le bas

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Cellulose (vrac) Pre1980 Post1980	0 70	0.046	1400	20	(ASHRAE, 2021c)
Contreplaqué	15.9 (5/8")	0.12	1210	544	(ASHRAE, 2021b, couche G02)
Ossature bois avec isolant	235 (9.25")	0.06	1515	96	Voir explications
Panneau de gypse	12.7 (0.5")	0.16	1090	800	Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (ASHRAE, 2021b, couche G01)

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).

## 4.2.2.5. Toiture

Tableau 9 : Propriétés thermiques de la toiture – de l'extérieur vers l'intérieur

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Bardeaux d'asphalte	3.2	0.04	1260	1120	(ASHRAE, 2021b, couche F12)
Contreplaqué	15.9 (5/8")	0.12	1210	544	(ASHRAE, 2021b, couche G02)

## 4.2.2.6. Murs intérieurs

Tableau 10 : Propriétés thermiques des murs intérieurs

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Panneau de gypse	12.7 (0.5")	0.16	1090	800	Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (ASHRAE, 2021b, couche G01)
Lame d'air	19 (0.75")	$R_{SI} = 0.15 \text{ m}^2 \text{K W}^{-1}$			Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (MERN, 2021)
Ossature bois avec air	89 (3.5")	0.409	1626	155	Voir explications
Lame d'air	19 (0.75")	$R_{SI} = 0.15 \text{ m}^2 \text{K W}^{-1}$			Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (MERN, 2021)
Panneau de gypse	12.7 (0.5")	0.16	1090	800	Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (ASHRAE, 2021b, couche G01)

Explications pour certaines couches :

- Pour la couche représentant l'ossature bois avec de l'air, l'épaisseur a été prise à 89 mm (épaisseur nominale d'un poteau 2"x4"). 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 F04 (lame d'air) du *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 2021b).

## 4.2.2.7. Planchers intérieurs

Tableau 11 : Propriétés thermiques des murs intérieurs

	$e$	$k$	$c_p$	$\rho$	Note
	mm (in)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$	
Bois dur	19 (0.75")	0.17	1630	700	Propriétés moyennes pour les bois durs (ASHRAE, 2021c)
Contreplaqué	15.9 (5/8")	0.12	1210	544	(ASHRAE, 2021b, couche G02)
Ossature bois avec air	235 (3.5")	1.182	1622	81	Voir explications
Panneau de gypse	12.7 (0.5")	0.16	1090	800	Épaisseur (LTE, 2016), propriétés (ASHRAE, 2021b, couche G01)

Explications pour certaines couches :

- Pour la couche représentant l'ossature bois avec de l'air, 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 F04 (lame d'air) du *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 2021b).

#### 4.2.2.8. Résistances thermiques – résumé

Tableau 12 : tableau récapitulatif des résistances thermiques des parois

	Résistance thermique ( $R_{Si}$ ) [ $m^2 K/W$ ]	
	Pre1980	Post1980
Dalle du sous-sol	0.8	
Murs du sous-sol	2.0	
Murs extérieurs	2.3	3.2
Plafond - Entretoit	3.9	5.7
Toiture	0.2	
Murs intérieurs	0.7	
Planchers intérieurs	0.5	

#### 4.2.3. Infiltration

Pendant les évaluations ÉnerGuide, le niveau d'étanchéité à l'air du bâtiment est déterminé par un essai d'infiltrométrie. La valeur inscrite dans la base de données utilisée est la surface de fuite équivalente à 10 Pa ( $SFE_{10}$ ), selon la norme CAN-CGSB-149.10 (CGSB, 2019).

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  $SFE_{10}$  vers la ELA à 4 Pa est nécessaire pour pouvoir rentrer la valeur dans l'équation. Cela est faite en utilisant l'équation de conversion, donnée également dans (ASHRAE, 2021a). Il faut inclure dans la conversion les différences de pression (10 Pa dans un cas, 4 Pa dans l'autre) et les coefficients de décharge différents (0.611 pour la SFE selon la norme canadienne 149.10, et 1 selon la définition de l'ELA américaine).

Il y a une grande dispersion dans les valeurs pour l'infiltration dans la base de données de CanmetENERGY. Pour les modèles énergétiques, la valeur moyenne est utilisée, qui est après conversion :

- Pour les bâtiments avant 1980, ELA à 4 Pa =  $362.6 \text{ cm}^2$
- Pour les bâtiments après 1980, ELA à 4 Pa =  $246 \text{ cm}^2$

### 4.3. Propriétés de la fenestration

Les fenêtres sont modélisées avec un objet qui décrit un système de vitrage au complet, plutôt que ses couches individuelles. Cet objet permet de modéliser la performance d'une fenêtre quand les informations disponibles sur les couches individuelles sont limitées.

Le modèle utilisé reprend les propriétés d'un type de fenêtre qu'on retrouve le plus au Québec (Neale, 2021) : un vitrage double avec cadre en bois, avec un coefficient de déperdition thermique (*U-value*) de  $2.94 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ , un coefficient de gains solaires (*solar heat gain coefficient*, SHGC) de 0.67 et une transmittance visible de 0.8.

### 4.4. Système CVCA

L'archétype dans la présente étude est équipé avec les équipements les plus répandus dans les résidences québécoises. Tous les équipements du système CVCA sont dimensionnés automatiquement en utilisant la fonction « *Auto Sized* » d'EnergyPlus, pour les conditions de design de Montréal.

#### 4.4.1. 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, 2020a, Tableau 22), ainsi que dans les réponses au questionnaire d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, personal communication, August 2023). À peu près 70 % des maisons des clients qui ont répondu au questionnaire ont des plinthes électriques pour le chauffage des espaces. Pour des maisons détachées de petite taille (moins de 4 pièces<sup>1</sup>), on voit plus d'utilisation de bois pour le chauffage, mais les plinthes électriques restent la solution la plus courante.

L'archétype présenté sera donc équipé des plinthes électriques pour le chauffage des espaces. Dans le logiciel EnergyPlus, plusieurs options sont à disposition pour modéliser des plinthes électriques. Pour ce

---

<sup>1</sup> Note : dans ce rapport, le nombre de pièces est celui des pièces reprises dans le sondage d'Hydro-Québec, soit les chambres, bureaux et salons.

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).

#### 4.4.2. Climatisation des espaces

Selon les réponses au questionnaire d'Hydro-Québec, la majorité des maisons disposent d'une climatisation active des espaces. 80 % des maisons des clients qui ont répondu au questionnaire ont de la climatisation, et la moitié des systèmes cités sont des climatiseurs muraux. L'autre moitié est répartie entre des systèmes centralisés et des climatiseurs de fenêtre. Pour des maisons de petite taille (moins de 4 pièces), le pourcentage de maisons avec climatisation est réduit à 70 %, ce qui reste une grande majorité. On voit encore que la moitié des maisons avec climatisation ont des climatiseurs muraux, et que l'autre moitié est de nouveau répartie entre des systèmes centralisés et des climatiseurs de fenêtre.

L'archétype présenté sera donc équipé d'une climatisation murale.

Dans EnergyPlus, la modélisation est faite en utilisant l'objet « *Packaged Terminal Air Conditioner* », qui est placé dans la zone principale sur le rez-de-chaussée. Ce type de climatiseur est souvent installé dans seulement un 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 sur le fonctionnement d'un climatiseur peut être important.

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* ».

#### 4.4.3. Extraction d'air vicié et ventilation mécanique

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

### 4.5. Eau chaude domestique

#### 4.5.1. Profil de consommation

##### 4.5.1.1. Utilisation des profils de consommation électrique d'Hydro-Québec

Dans la base de données d'Hydro-Québec il y a des informations données sur les équipements utilisés pour l'eau chaude domestique. En théorie, ces informations permettraient de déterminer la consommation liée à l'eau chaude domestique et le profil moyen de consommation, en comparant la consommation électrique pour des bâtiments avec un chauffe-eau électrique et la consommation des bâtiments avec un chauffe-eau aux combustibles.

Dans cette analyse il est important d'enlever d'autres paramètres d'influence comme la source de chauffage des espaces et la présence de climatisation, qui pourraient introduire des biais dans les profils. Après triage de données pour obtenir les profils à comparer, le nombre de profils qui reste est trop bas pour pouvoir continuer l'analyse. Nous n'avons donc pas pu établir des profils de consommation d'eau chaude avec cette approche.

#### 4.5.1.2. Autres sources de données

Edwards et al. (2015) présentent une analyse des profils de consommation d'eau chaude obtenus lors d'une étude d'Hydro-Québec sur les chauffe-eaux à 3 éléments. À partir des mesures sur 73 maisons, ils ont dérivé 12 profils représentatifs. Ces 12 profils ont été combinés en les moyennant sans introduire de facteur de pondération. Ensuite, un profil moyen « jour de semaine » et un profil moyen « jour de fin de semaine » ont été dérivés. Les profils qui en résultent sont montrés à la Figure 7, qui montre la consommation d'eau chaude domestique en Litres par heure. On obtient une consommation moyenne de 175 L par jour, avec une consommation plus élevée la fin de semaine (198 L) et plus basse les jours de semaine (167 L).

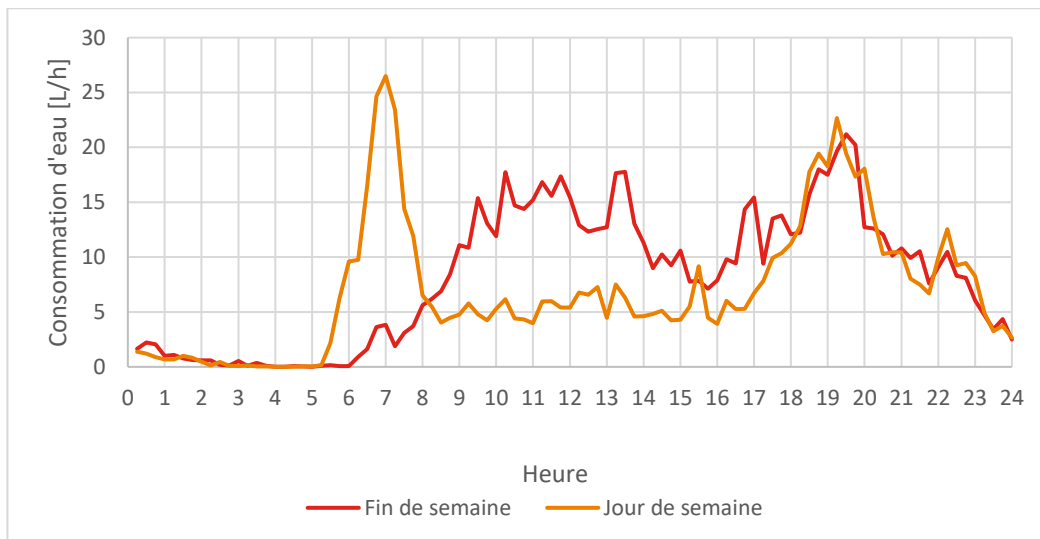


Figure 7 : Profil moyen de consommation d'eau chaude en litres par heure pour des jours de semaine et la fin de semaine. La pointe matinale n'est pas présente en fin de semaine, la consommation étant décalée sur toute la matinée. La consommation journalière est supérieure de 20 % en fin de semaine.

#### 4.5.2. Modélisation du chauffe-eau

Le chauffe-eau est modélisé d'une façon simplifiée. Les paramètres de simulation sont des paramètres moyennés des modèles courants au Québec (Allard et al., 2011). Le modèle est un chauffe-eau électrique avec un réservoir de 200 L et une capacité de chauffage de 4 KW avec un rendement de 100 %. Le modèle suppose que tout le volume d'eau dans le réservoir est à une température homogène. Les pertes thermiques sont de 2.5 W/K (la différence de température entre le réservoir et la zone ambiante dans laquelle se trouve le chauffe-eau, étant le sous-sol).

La température d'entrée de l'eau est supposée être constante pendant l'année (10 °C).

## 4.6. Charges d'éclairage et des équipements

Selon les statistiques provinciales, à peu près 20 % de la consommation électrique d'une maison détachée vient de la consommation électrique de l'éclairage et les équipements. Pour un ménage moyen, la consommation annuelle revient à environ 6,500 kWh par an (RNCan-OEE, 2020b, Tableau 35).

Grace aux données de consommation électrique provenant d'Hydro-Québec, on obtient une deuxième estimation de la consommation annuelle, en plus d'une estimation d'un horaire pour les charges de base.

### 4.6.1. Analyse des données d'Hydro-Québec et établissement d'un horaire

Cette analyse est appliquée uniquement sur les bâtiments dans la base de données qui sont similaires à l'archétype à modéliser : des bâtiments détachés de petite taille (moins de 4 pièces). L'objectif est d'obtenir des profils journaliers des charges de base dans les résidences. Pour le faire, on regarde la consommation électrique dans la période sans chauffage (début juin jusqu'à fin septembre).

En plus de trier les bâtiments sur leur typologie, des bâtiments avec des consommations supplémentaires pendant l'été sont enlevées de la sélection pour éviter leur influence sur les profils de consommation. On enlève les bâtiments avec climatisation et des bâtiments avec une piscine, spa ou un véhicule électrique. Tous ces informations sont liées aux profils de consommation grâce aux réponses aux sondages par les clients d'Hydro-Québec. Après analyse, on obtient des profils moyens pour chaque journée de la semaine, en supposant que le comportement des occupant peut avoir un impact important sur les profils au cours de la semaine. Les profils résultants sont montrés à la Figure 8.



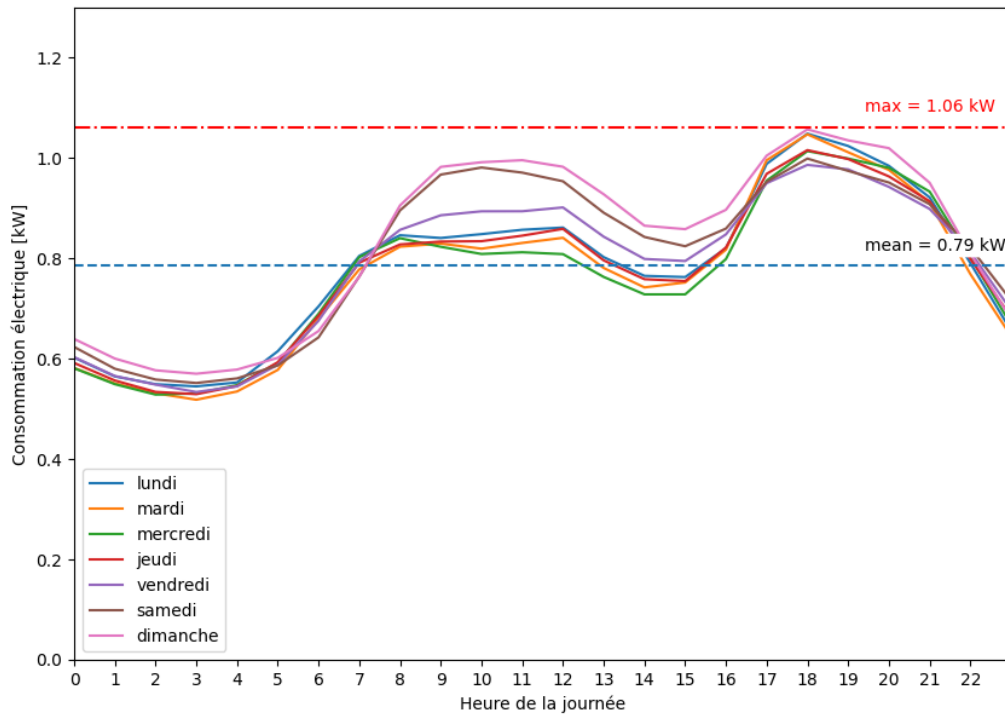


Figure 8 : Profils moyens journaliers de la charge de base

On remarque que les profils pour les jours de semaine se ressemblent, ainsi que les profils pour la fin de semaine. Afin de simplifier les entrées de simulation, deux profils sont constitués : un pour les jours de semaine et un pour la fin de semaine, comme montré dans la Figure 9.

Il faut noter que la consommation d'eau chaude est comprise dans la charge de base dans cette analyse, vu qu'il n'est pas possible de distinguer la consommation liée à l'utilisation d'eau chaude des autres charges. Cette nuance est ignorée dans la définition de l'horaire appliqué sur les charges de base, mais on en tient compte dans les calculs pour les valeurs nominales des charges.

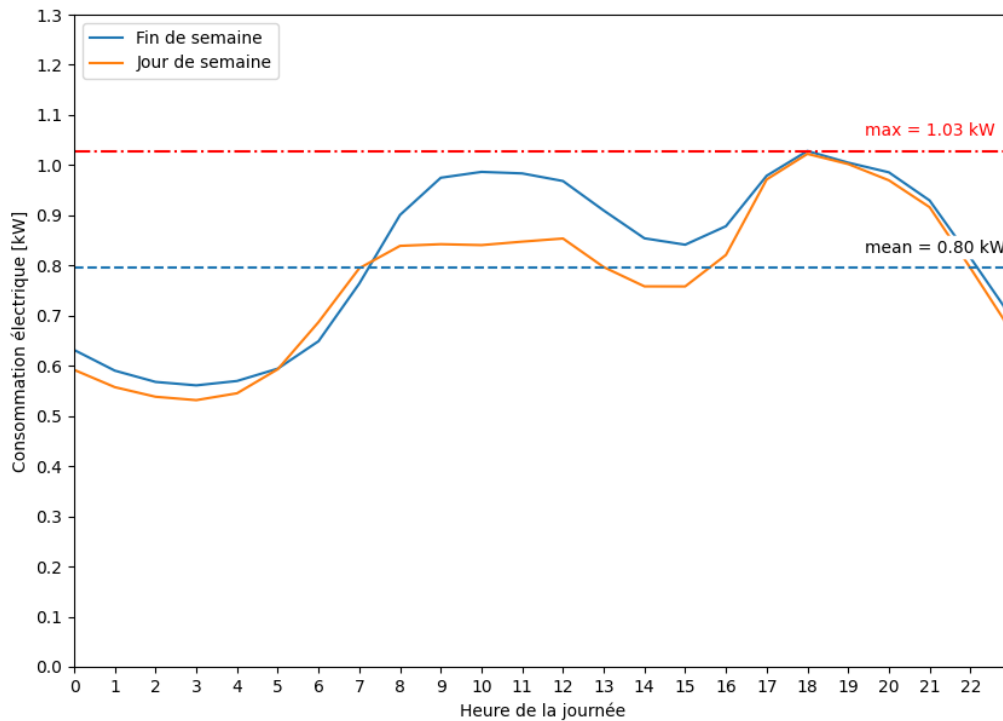


Figure 9 : profil moyen pour les jours de semaine et la fin de semaine

#### 4.6.2. Valeurs nominales pour les charges

Pour tenir compte du fait que la consommation annuelle des charges de bases sera inférieure à la valeur obtenue de cette analyse, une estimation de la consommation électrique liée à la consommation d'eau chaude est calculée avec les valeurs présentées dans la section 4.5.1.2 et soustraite de la consommation des charges de bases obtenus des profils d'Hydro-Québec.

Pour l'éclairage on obtient une valeur nominale de 215 W pour la maison, qui est configurée d'une façon relative à la superficie dans le modèle énergétique avec une valeur de 1.2 W/m<sup>2</sup>.

Les équipements ont une consommation nominale de 630 W pour la maison, ce qui revient à 3.5 W/m<sup>2</sup>.

Il faut noter que ces valeurs nominales ne représentent pas la puissance installée des équipements, mais plutôt la puissance qui correspond à une fraction d'utilisation de 100 % dans les horaires définis (qui vont de 0 à 1, ou de 0 à 100 %). L'approche choisie, qui définit un « jour moyen » pour la semaine et la fin de semaine, ne permet pas de représenter les pointes associées à certains équipements comme les cuisinières et les sèche-linges, qui ont en général une puissance de plusieurs kW.

## 4.7. Occupants

Selon le sondage d'Hydro-Québec, le nombre d'occupants dans des résidences de petite taille est deux dans 60 % des cas et dans 30 % des cas il y a un seul occupant. Les autres résidences ont plus d'occupants. Pour la simulation, on suppose qu'il y a 2 occupants dans la résidence avec un horaire de présence qui suit l'horaire pour le profil des charges de base pendant la journée, et qui est 100 % d'occupation de 21 h le soir à 8 h du matin. 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).

## 5. Résultats et comparaison avec les données disponibles

Afin de faire une validation préliminaire du modèle énergétique, les résultats de simulation sont comparés à des statistiques provinciales sur la consommation énergétique des résidences. Pour une première approche, la station de l'aéroport de Montréal, située à proximité des plus grands centres urbains du Québec, a été choisie. Le fichier de données utilisé est celui des « fichiers météorologiques canadiens pour l'énergie et le génie » (FMCEG, connus en anglais sous l'acronyme CWEC, *Canadian Weather for Energy Calculations*), dans leur version mise à jour en 2020 (ECC Canada, 2020).

La consommation énergétique des modèles Pre 1980 et Post 1980 sont 25 333 kWh et 21 561 kWh respectivement. La part de la consommation par utilisation finale est donnée dans la Figure 10 pour les deux modèles et est comparée aux statistiques provinciales pour les bâtiments détachés ainsi qu'aux profils de consommation fournis par Hydro-Québec. À partir des profils de consommation d'Hydro-Québec, une estimation approximative est faite de la part de consommation liée au chauffage des espaces en regardant la consommation électrique pour des bâtiments chauffés à l'électricité par rapport aux bâtiments chauffés avec des autres sources d'énergie. Dans les caractéristiques qui sont liées aux profils d'Hydro-Québec, il y a des indicateurs de l'utilisation des chauffages d'appoint, ce qui peut introduire des biais, et les maisons indiquant un chauffage d'appoint sont donc enlevées de la sélection pour cette analyse.

La taille des diagrammes dans la Figure 10 est proportionnelle à la consommation annuelle selon la source correspondante, mais cet aspect n'est pas le plus pertinent dans cette comparaison, vu qu'on compare la consommation d'un modèle pour une typologie en particulier avec des statistiques sur des groupes de bâtiments plus larges. On s'intéresse surtout à l'ordre de grandeur de la consommation énergétique, et les fractions de la consommation venant des différentes utilisations finales. La dernière semble correspondre assez bien aux partitions présentées dans les statistiques. Pour la consommation totale du bâtiment, en gardant la nuance en tête sur ce qu'on compare, on observe que les statistiques provinciales (RNCan-OEE, 2020b) montrent une consommation énergétique qui est considérablement plus élevée que celle calculée à partir des profils d'Hydro-Québec.

Étant donnée la différence entre les deux sources qui peuvent nous servir pour une validation des modèles, il est important de regarder plus en détails les hypothèses prises en compte dans les statistiques de (RNCan-OEE, 2020b), et les biais qui est potentiellement présent dans la base de données d'Hydro-Québec.

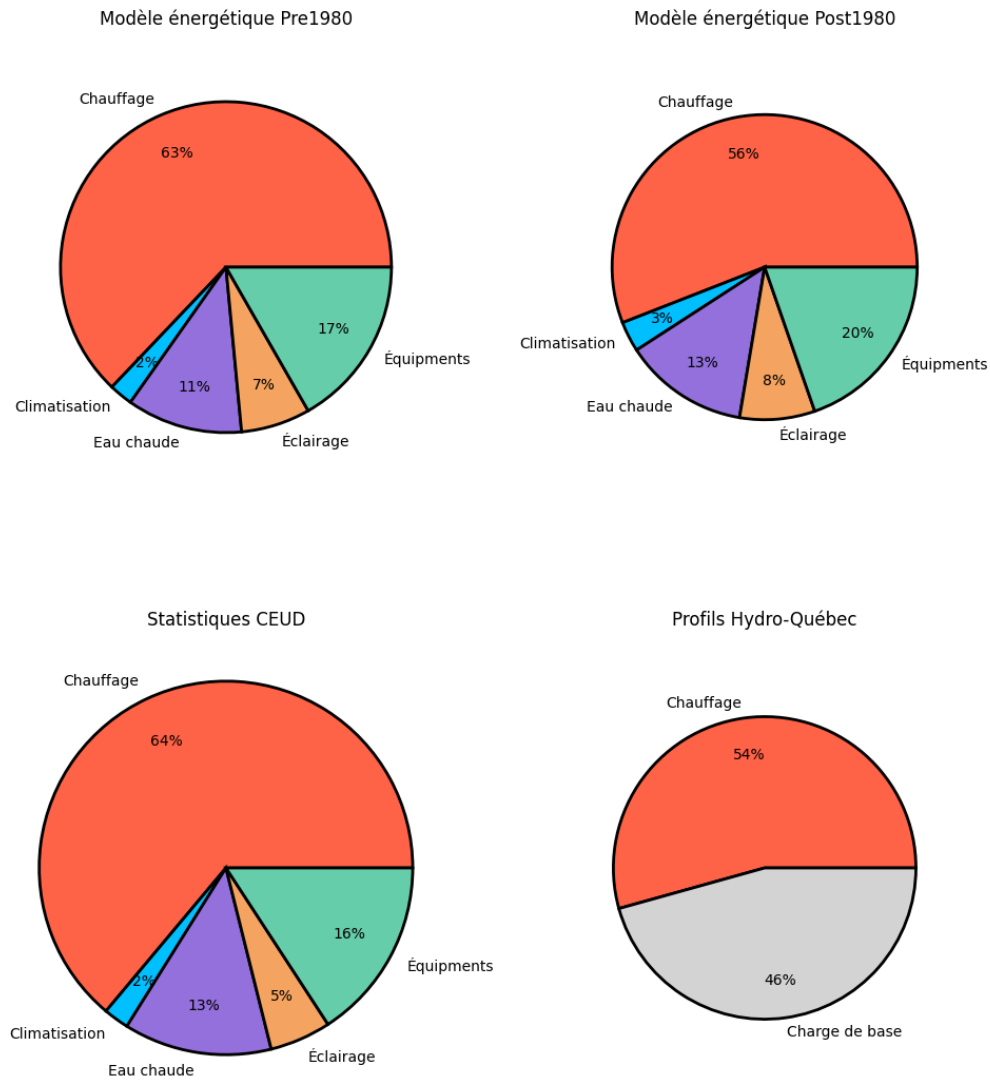


Figure 10 : Part (en %) de consommation énergétique par utilisation finale pour le modèle énergétique Pre1980 et Post1980, les statistiques provinciales selon le CEUD (RNCAN-OEE, 2020b) pour des maisons détachées et les profils de consommation d'Hydro-Québec pour des maisons détachées. Les tailles des diagrammes sont proportionnelles aux consommations énergétiques totales.

## 6. Discussion et Conclusion

L'étude présente une méthodologie qui repose sur le partitionnement de données pour identifier les typologies le plus pertinentes pour catégoriser les bâtiments résidentiels. Après une analyse des regroupement proposés par le partitionnement, on obtient 7 typologies à modéliser qui représenteront les caractéristiques des maisons unifamiliales Québécoises.

Ensuite, un premier archétype est développé qui représente la géométrie la plus répandue au Québec d'une maison détachée avec un seul étage. Deux versions du modèle énergétique sont créées qui encapsulent le niveau de performance de l'enveloppe de deux périodes de construction qu'on retrouve pour ce type de bâtiment : Pre1980 et Post1980. Après la définition d'un modèle thermique de l'enveloppe du bâtiment, des caractéristiques liées à l'occupation et une implémentation du système CVCA sont ajoutés.

Une validation préliminaire montre que les résultats de simulation des modèles énergétiques se comparent assez bien aux statistiques provinciales, bien que pour la validation des modèles, les statistiques auxquelles les modèles sont comparés comprennent « tous » les bâtiments détachés. Il n'y a pas de différenciation dans la taille ou l'âge du bâtiment. Des validations supplémentaires pourront être faites avec des groupes de bâtiments qui sont identifiés comme étant plus similaires à l'archétype.

L'approche de partitionnement de données permet d'identifier les typologies d'une façon plus rigoureuse qu'une approche manuelle. La méthodologie actuelle n'est pas encore parfaitement adaptée pour réaliser le partitionnement selon l'identification des caractéristiques qui sont importantes pour la modélisation énergétique. Pour les travaux futurs, la méthodologie pourra être raffinée pour éviter la nécessité de l'intervention humaine dans la décision finale des typologies.

Pour les modèles qui sont ensuite créés, quelques limitations peuvent être identifiées, qui devraient être reconsidérées lors des futures études :

- La charge de chauffage qui est liée à l'infiltration est très importante. En enlevant l'infiltration dans le modèle, la charge de chauffage est réduite à 50 % de sa valeur avec infiltration, ce qui semble très élevé. Une mauvaise interprétation du paramètre indiqué dans la base de données Energuides pourrait expliquer en partie cette valeur élevée – les valeurs « ELA » ont été interprétées comme la surface équivalente de fuite (SFE) à 10 Pa.
- Dans la simulation, la température du sol est par défaut fixée à 18 °C et constante pendant la simulation. La dalle du sous-sol des deux modèles n'est pas isolée, comme c'est typiquement le cas au Québec. Avec une température constante du sol, les pertes thermiques à travers la dalle contribuent notablement aux besoins thermiques. Pour démontrer l'impact sur les charges de chauffage, on fait une comparaison avec un modèle où on ajoute une couche d'isolant de 5 cm avec une conductivité thermique de 0.035 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> en-dessous de la dalle. Pour les modèles Pre 1980 et Post 1980, la réduction de la charge de chauffage est de 14 % et 18 % respectivement. Les études futures devraient raffiner les hypothèses sur la dalle et évaluer la modélisation des transferts thermiques vers le sol pour lever l'hypothèse simpliste d'une température constante.

- La température d'entrée de l'eau dans le bâtiment est considérée comme étant constante au cours de l'année. En réalité, la température de l'eau varie selon les saisons, ce qui a un impact sur la consommation d'énergie lié à l'utilisation d'eau chaude. Une corrélation devrait être incluse dans le modèle qui tient compte de cette variation.
- Le comportement dynamique de la consommation d'électricité simulée n'est pas analysé dans la présente étude. L'approche choisie pour définir les horaires de fonctionnement, qui vise à établir des profils « doux » représentant un comportement moyen, se prête mal à ce genre d'analyse. Le zonage (différences de températures entre différentes pièces) et le comportement réaliste des régulateurs du chauffage (thermostats) ne sont pas pris en compte dans le modèle pour le moment.
- La nature ON/OFF de certains systèmes de régulation, en particulier pour le chauffe-eau dans le modèle actuel, peut avoir un impact important sur la demande de pointe et sur le profil dynamique de la demande en électricité. Il faudra sans doute établir une méthodologie de calibration à l'échelle de plusieurs archétypes ou une forme de lissage des profils pour pouvoir utiliser des profils mesurés aux 15 minutes lors de la calibration.

## 7. Références

- Allard, Y., Kummert, M., Bernier, M., & Moreau, A. (2011). Intermodel comparison and experimental validation of electrical water heater models in TRNSYS. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of the International Building Performance Simulation Association, 14-16 Nov*, 688–695.
- Asaee, R. (2022). *Development of Stock Models for the Analysis of Existing Canadian Houses* (p. 19). CanmetENERGY, Natural Resources Canada.
- ASHRAE. (2021a). Chap. 16: Ventilation and infiltration. In *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. In *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2021c). Chap. 26: Heat, air, and moisture control in building assemblies—Material properties. In *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- CanmetENERGY. (2022). *NRCan Housing Archetypes for Energy Analysis*. Natural Resources Canada. <https://github.com/canmet-energy/housing-archetypes/tree/main>
- CGSB. (2019). *Determination of the airtightness of building envelopes by the fan depressurization method*. CAN/CGSB-149.10-2019. Canadian General Standards Board.
- De Jaeger, I., Reynders, G., Callebaut, C., & Saelens, D. (2020). A building clustering approach for urban energy simulations. *Energy and Buildings*, 208, 109671. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109671>
- ECC Canada. (2020). *Canadian Weather Energy and Engineering Datasets (CWEEDS) and Canadian Weather Year for Energy Calculation (CWEC)—2020 update* [Computer software]. Environment and Climate Change Canada. [https://climate.weather.gc.ca/prods\\_servs/engineering\\_e.html](https://climate.weather.gc.ca/prods_servs/engineering_e.html)
- Edwards, S., Beausoleil-Morrison, I., & Laperrière, A. (2015). Representative hot water draw profiles at high temporal resolution for simulating the performance of solar thermal systems. *Solar Energy*, 111, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.026>
- Hydro-Québec. (2023, August). *Données de consommation électrique des clients d'Hydro-Québec et réponses à une questionnaire sur les caractéristiques de l'habitation* [Communication personnelle].
- 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*. SimBuild, New York, NY, USA.
- 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.
- Neale, A. (2021). *Development of a bottom-up white-box residential building stock energy model* [PhD thesis]. Polytechnique Montréal.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.



- RNCan. (n.d.). *Base de données nationale sur la consommation d'énergie*. Gouvernement du Canada, Ressources naturelles Canada. Retrieved November 1, 2023, from [https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/donnees\\_f/bases\\_de\\_donnees.cfm](https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/donnees_f/bases_de_donnees.cfm)
- RNCan. (2023). *Hot2000*. Ressources Naturelles Canada. <https://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/homes/professional-opportunities/tools-industry-professionals/20596>
- RNCan-OEE. (n.d.). *Base de données complète sur la consommation d'énergie*. Ressources Naturelles Canada, Office de l'Efficacité Énergétique. Retrieved November 1, 2023, from [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)
- RNCan-OEE. (2020a). *Secteur résidentiel Québec—Tableau 22: Stock des systèmes de chauffage des maisons unifamiliales par type de système*. Base de Données Nationale Sur La Consommation d'énergie; Ressources Naturelles Canada, Office de l'Efficacité Énergétique. <https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/showTable.cfm?type=CP&sector=res&juris=qc&rn=35&year=2020&page=3>
- RNCan-OEE. (2020b). *Secteur résidentiel Québec—Tableau 35: Consommation d'énergie secondaire et émissions de GES des maisons unifamiliales par utilisation finale*. Base de Données Nationale Sur La Consommation d'énergie; Ressources Naturelles Canada, Office de l'Efficacité Énergétique. <https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/showTable.cfm?type=CP&sector=res&juris=qc&rn=35&year=2020&page=3>
- StatsCan. (n.d.). *Recensement de la population*. Statistique Canada. Retrieved November 2, 2023, from <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/index-fra.cfm?DGUID=2021A000011124>
- Swan, L. G., Ugursal, V. I., & Beausoleil-Morrison, I. (2009). A database of house descriptions representative of the Canadian housing stock for coupling to building energy performance simulation. *Journal of Building Performance Simulation*, 2(2), 75–84. <https://doi.org/10.1080/19401490802491827>

