

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

Continuation de l'exploration des méthodologies à appliquer dans le développement des archétypes et présentation des archétypes des maisons unifamiliales

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

Révision : 2024-11-30

Département de Génie Mécanique  
Polytechnique Montréal

michael.kummert@polymtl.ca

**POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL**



# Table des matières

Nomenclature .....	ii
1. Contexte et objectifs de l'étude.....	4
2. Méthodologie.....	5
2.1. Sources de données.....	5
2.2. Logiciel de simulation.....	5
3. Résumé des typologies.....	6
4. Développement des modèles énergétiques .....	7
4.1. Géométrie du bâtiment .....	7
4.1.1. Données CanmetENERGY .....	7
4.1.2. Données géospatiales : empreintes au sol.....	7
4.1.3. Géométries des typologies .....	8
4.2. Définition des parois .....	12
4.2.1. Données de construction .....	12
4.2.2. Traitement des données .....	13
4.2.3. Propriétés des parois .....	13
4.2.4. Infiltration.....	16
4.3. Propriétés de la fenestration .....	17
4.4. Système CVCA.....	18
4.4.1. Chauffage des espaces .....	18
4.4.2. Climatisation des espaces .....	18
4.4.3. Extraction d'air vicié et ventilation mécanique .....	19
4.5. Eau chaude domestique .....	20
4.5.1. Profil de consommation .....	20
4.5.2. Modélisation de la consommation .....	20
4.6. Charges d'éclairage et des équipements .....	21
4.7. Occupants.....	22
4.8. Masse thermique .....	22
5. Résultats préliminaires et comparaison avec les données disponibles.....	23
6. Discussion et Conclusion .....	25
7. Références .....	26

## Nomenclature

AR	<i>Aspect Ratio</i> , rapport de forme, ici le rapport entre la longueur et la largeur d'une empreinte au sol de bâtiment
ASHRAE	American society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers
CAH	Changements d'air par heure ( <i>air changes per hour</i> , ACH), expression de l'infiltration ou de la ventilation comme un taux de renouvellement du volume d'air par heure [h <sup>-1</sup> ]
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> , FMCEG en français (voir ci-dessous)
EGHD	<i>EnerGuide for Housing Database</i> (Base de données compilée par Ressources Naturelles Canada à partir des évaluations énergétiques du programme ÉnerGuide)
EUI	<i>Energy Use Intensity</i> , la consommation énergétique spécifique par m <sup>2</sup> de plancher
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
NEUD	<i>National Energy Use Database</i> , base de données sur la consommation d'énergie de Ressources Naturelles Canada
GES	Gaz à effet de serre
HQ	Hydro-Québec
RSI	Résistance thermique en unités du Système International (m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup> )
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	<i>Solar Heat Gain Coefficient</i> (coefficient de gain de chaleur solaire, CGCS), coefficient sans dimension qui indique la fraction de l'énergie solaire incidente sur une fenêtre qui se retrouve dans le bâtiment

U ou U-value	Coefficient de déperditions thermiques ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ), souvent appelé « valeur U » ( <i>U-value</i> en anglais)
VRC	Ventilateur récupérateur de chaleur (HRV, <i>heat recovery ventilator</i> )
WWR	<i>Window-to-Wall Ratio</i> , rapport entre la superficie de fenestration et la superficie des murs hors-sol de l'enveloppe extérieure du bâtiment

# 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 des archétypes nécessaires pour représenter l'ensemble des maisons unifamiliales : des bâtiments caractérisés par une structure indépendante occupée par une seule famille. Les duplex et triplex, fréquents au Québec, font partie d'une étude conduite en parallèle.

Dans une première étude, les typologies les plus courantes ont été identifiées et un premier archétype a été créé pour une seule typologie. La présente étude présente une continuation de ce travail. Les objectifs spécifiques de l'étude étaient de définir des modèles énergétiques pour chacun de ces typologies. La définition du modèle énergétique 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 développement des archétypes se passe en parallèle d'un travail continu sur les méthodologies utilisées pour obtenir les informations nécessaires pour informer les paramètres du modèle énergétique.

Le présent rapport accompagne les archétypes développés. Il décrit l'approche suivie, les données utilisées et les paramètres sélectionnés. Il présente une discussion sur les limitations des modèles actuels, ainsi qu'une ébauche des étapes à parcourir pour le développement de futurs archétypes et pour des potentielles améliorations aux modèles des maisons unifamiliales.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Sources de données

Cette étape de l'étude repose en grande partie sur les mêmes bases de données que l'étape précédente. L'étude EVAL-ISO est ajoutée comme ressource. Quelques traitements de ces ressources ont également avancé. Les bases de données utilisées sont résumées ci-dessous :

- 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.-a)
- 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-OEE, n.d.-b)
- Les données du recensement de la population de 2016 (StatsCan, n.d.)
- La base de données « NRCAN Housing Archetypes for Energy Analysis » (CanmetENERGY, 2022) 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 avaient été sélectionnés en utilisant des données de plusieurs sources (Asaee, 2022).
- Données provenant de l'étude « EVAL-ISO » qui a produit deux documents pertinents :
  - Le rapport final qui résume les constatations de l'étude (Hydro-Québec, 1994) et qui contient des données sur la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments résidentiels, et plus spécifiquement sur les maisons unifamiliales.
  - Le guide d'enquête, qui donne les détails techniques sur laquelle l'étude repose (Hydro-Québec, 1993).
- Les données de l'outil de performance énergétique (OPE) d'Hydro-Québec et les données de consommation des clients ayant répondu (Hydro-Québec, 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 Application v 1.7.1 (qui utilise OpenStudio SDK v.3.7.0) pour définir tous les autres aspects du modèle. OpenStudio utilise EnergyPlus (v.23.2) comme moteur de modélisation.

### 3. Résumé des typologies

Dans la première étape de l'étude, nous avons établi les typologies à modéliser en utilisant le partitionnement de données.

Le Tableau 1 résume les typologies obtenues. Dans les sections suivantes, les modèles énergétiques de toutes les typologies seront élaborés. Les modèles énergétiques des bâtiments détachés avec 1 étage étaient déjà établis pendant la première étape du projet. Quelques améliorations sont mises en place. Ces typologies seront donc de nouveau incluses dans la discussion.

Tel qu'expliqué dans le premier rapport, les archétypes pour les bâtiments détachés avec 1 étage ont des caractéristiques géométriques très similaires, et on peut donc représenter ce groupe de bâtiments avec un seul modèle géométrique. Seules les propriétés thermiques seront modifiées entre les archétypes pour différentes périodes de construction.

La situation est différente pour les bâtiments détachés à 2 étages. Ici, on retrouve une différence importante dans la taille des bâtiments construits avant 1980 et après 1980. Les bâtiments plus récents ont tendance à être plus grand. Deux modèles géométriques seront donc développés selon les caractéristiques moyennes qu'on retrouve pour ces typologies.

Les bâtiments semi-détachés (Type maisons jumelées) seront représentés par deux archétypes, un archétype à 1 étage et un archétype à 2 étages. Les bâtiments en rangée seront représentés par un seul modèle géométrique, un bâtiment à 2 étages. Bien qu'il puisse y avoir des variations en taille ou forme selon la période de construction, ces bâtiments sont peu nombreux. Afin de limiter le nombre d'archétypes à développer, ces bâtiments seront représentés par le nombre d'archétypes minimum requis pour encapsuler les propriétés les plus importantes dans la simulation énergétique, qui sont la présence de murs mitoyens et le nombre d'étages du bâtiment.

Tableau 1 : Les typologies obtenues pour les bâtiments unifamiliaux après partitionnement de données

Typologies	Type	Nb. Étages	Année de construction	Pourcentage de fenestration	Résistance thermique des murs (RSI, m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup> )	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

Tel que discuté plus loin, l'année de construction représente une « année moyenne » pour la typologie sélectionnée, mais l'archétype pourra adopter des propriétés thermiques et des systèmes correspondant à des périodes de construction différentes.

## 4. Développement des modèles énergétiques

La discussion sur le développement des modèles énergétiques se concentrera d'abord sur les méthodologies adoptées. Il y a un nombre de modifications dans les approches par rapport à la première étape de l'étude.

Les typologies présentées dans la section précédente décrivent la forme du bâtiment, qui sera reflétée par le modèle géométrique utilisé dans la simulation. Chaque typologie a été identifiée par une période de construction « moyenne », et représente la forme typique des bâtiments qui ont été construits à travers des périodes relativement longues. Pour établir des archétypes qui représentent des bâtiments d'une période de construction plus précise, on leur attribue des propriétés thermiques associées à des différentes périodes de construction. On garde donc les mêmes modèles géométriques, mais en leur appliquant des caractéristiques thermiques différentes. Ceci suppose que les variations dans les géométries à travers les différentes périodes ont peu d'impact sur le profil de consommation en regard des caractéristiques thermiques.

Une bibliothèque de composantes d'enveloppe a été construite pour représenter les propriétés typiques des composantes d'enveloppe selon la période de construction. En plus des propriétés de l'enveloppe, on impose un taux d'infiltration qui est également différent selon la période de construction.

### 4.1. Géométrie du bâtiment

La définition de la géométrie du bâtiment pour la modélisation énergétique nécessite de spécifier la forme du bâtiment explicitement. À part de la superficie plancher et le nombre d'étages, qui est associé à chaque typologie, nous avons donc besoin de connaître le rapport de forme (*aspect ratio*, AR) du bâtiment typique.

#### 4.1.1. Données CanmetENERGY

Pour la première étude, nous avons choisi d'utiliser la base de données de CanmetENERGY, qui comporte un indicateur de la forme globale (« rectangulaire », « forme en L », etc.). De plus, la base comprend des informations sur la valeur du périmètre des murs extérieurs, ce qui en théorie devrait permettre de calculer la longueur et largeur du rectangle de l'empreinte au sol, pour déterminer ensuite la « vraie » forme. La documentation sur les paramètres dans la base de données est limitée, et en utilisant des hypothèses basées sur le peu d'information qui y est compris, nous ne sommes pas arrivés à obtenir des résultats cohérents. Le calcul ne résulte dans des dimensions réalistes que pour les bâtiments à un étage.

Pour la suite de l'étude, nous avons adopté une approche alternative qui utilise les données géospatiales des empreintes au sol des bâtiments à Montréal.

#### 4.1.2. Données géospatiales : empreintes au sol

L'approche alternative utilise les empreintes au sol des bâtiments qu'on retrouve dans une base de données géoréférencées.



Une base de données construite par Concordia est utilisée (Institut de Villes de Nouvelle Génération, 2023). Leur base de données a subi un traitement rigoureux qui sert à nettoyer les données et les rendre utilisables.

Les bâtiments unifamiliaux sont sélectionnés se basant sur le code d'utilisation et l'indicateur du nombre de logements dans le bâtiment. Le nombre d'adresses qui se trouvent dans un bâtiment permet également de différencier les bâtiments unifamiliaux des bâtiments multi-résidentiels. En combinant ces informations, nous retenons (principalement) des bâtiments unifamiliaux.

Ensuite, il est possible d'identifier l'occurrence des murs mitoyens. Cela permet de classifier les bâtiments selon les typologies présentées dans la section 3.

On notera qu'en théorie, ces empreintes au sol auraient également pu être utilisées pour obtenir d'autres paramètres des typologies, et pas seulement le rapport de forme (AR). Ce choix n'a pas été fait, parce que les données géoréférencées ont des marges d'erreur assez grandes pour les petits bâtiments, puisqu'elles représentent une projection horizontale de la forme extérieure des maisons, incluant les rebords de toiture, qui peuvent affecter notablement les dimensions. L'utilisation des empreintes au sol pour déterminer seulement le rapport de forme AR est moins influencée par ces erreurs.

Le Tableau 2 montre les résultats de cette étape. Ces AR sont utilisés en combinaison avec la superficie plancher pour calculer les dimensions des bâtiments.

Tableau 2 : Résultats de l'analyse des empruntes au sol des bâtiments unifamiliaux

Type de bâtiment	AR [-]	Sup <sub>env</sub> /Vol
Détaché	1.33	0.65
Semi-Détaché	1.75	0.70
Rangée	1.50	0.70

La méthode basée sur les empreintes au sol donne seulement un AR moyen pour tous les bâtiments d'une catégorie, indépendamment du nombre d'étages. Pour les bâtiments détachés, on avait déjà constaté qu'un AR de 1.6 est typique pour une maison à 1 étage (Vanroy & Kummert, 2023), et la méthodologie utilisée ici donne un AR moyen de 1.33 (tous nombres d'étages confondus). Puisque les maisons à 1 étage constituent à peu près 50 % des maisons détachées, on a supposé un AR de 1 pour les maisons à deux étages en gardant le AR de 1.6 pour les maisons à un étage, ce qui donne bien un AR moyen proche de 1.33 pour l'ensemble des maisons détachées.

Les sections suivantes résument les détails des formes des différents typologies

#### 4.1.3. Géométries des typologies

La plupart des maisons unifamiliales ont un toit avec une pente de 3.33 : 10, indépendamment des typologies. C'est donc la pente utilisée dans les archétypes.

Les modèles énergétiques comprennent 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.

#### 4.1.3.1. Maison détachée – 1 étage

Comme mentionné dans la section 3, nous avons une seule forme géométrique pour les maisons détachées avec 1 étage, qui est le même pour les bâtiments construits avant 1980 et ceux construits après. Comme nous l'avons déterminé dans la première étude, on retrouve une superficie plancher de 180 m<sup>2</sup>, partitionnée en deux étages (un étage hors sol et le sous-sol). Nous avons également retrouvé le rapport hauteur/largeur du bâtiment, qui est de 1.6 pour le « bâtiment moyen d'un étage ».

Le pourcentage de superficie des murs extérieurs hors-sol occupée par la fenestration (WWR) 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).

La Figure 1 montre la géométrie du bâtiment qui en résulte.

#### 4.1.3.2. Maison détachée – 2 étages : avant 1980

Pour les maisons détachées avec 2 étages, nous auront 2 modèles géométriques distincts pour les bâtiments construits avant 1980 et ceux construits après 1980.

La maison détachée à 2 étages construite avant 1980 a une superficie plancher totale de la résidence de 180 m<sup>2</sup>, partitionnée sur 3 étages (rez-de-chaussée, deuxième étage et sous-sol). Il y a également un garage de 24 m<sup>2</sup> adjoint au bâtiment.

Le pourcentage de superficie des murs extérieurs hors-sol occupé par la fenestration (WWR) est en moyenne de 11 % pour cette typologie, avec une distribution homogène sur toutes les façades.

La Figure 2 montre la géométrie du bâtiment qui en résulte.

#### 4.1.3.3. Maison détachée – 2 étages : après 1980

La maison détachée à 2 étages construite après 1980 a une superficie plancher totale de la résidence de 250 m<sup>2</sup>. Le rez-de-chaussée et sous-sol ont une superficie de 76 m<sup>2</sup> chacun. Il y a également un garage de 24 m<sup>2</sup> adjoint au bâtiment. Le deuxième étage couvre le garage et a une superficie de 100 m<sup>2</sup>.

Le pourcentage de superficie des murs extérieurs hors-sol occupé par la fenestration (WWR) est en moyenne de 12.5 % pour cette typologie, avec une distribution qui priorise un axe (Nord-Sud ou Est-Ouest). On voit qu'en moyenne 65 % de la superficie vitrée se trouve sur cet axe.

La Figure 3 montre la géométrie du bâtiment qui en résulte.

#### 4.1.3.4. Maison semi-détachée – 1 étage

La maison semi-détachée avec 1 étage a une superficie plancher totale de 135 m<sup>2</sup>, partitionnée sur 2 étages (rez-de-chaussée et sous-sol). Le bâtiment aura un mur adiabatique qui représente le mur mitoyen partagé avec le bâtiment voisin.

Le pourcentage de superficie des murs extérieurs hors-sol occupé par la fenestration (WWR) est en moyenne de 15 % pour cette typologie. Il est important de noter que pour calculer la superficie de la fenestration, on tient uniquement compte des parois extérieurs. Le mur mitoyen n'est donc pas compté dans la superficie de l'enveloppe pour ce calcul. La distribution priorise un axe (Nord-Sud ou Est-Ouest). On voit qu'en moyenne 70 % de la superficie vitrée se trouve sur cet axe.

La Figure 5 montre la géométrie du bâtiment qui en résulte.

#### 4.1.3.5. Maison semi-détachée – 2 étages

La maison semi-détachée avec 2 étages a une superficie plancher totale de 162 m<sup>2</sup>, partitionnée sur 3 étages (rez-de-chaussée, deuxième étage et sous-sol).

Le pourcentage de superficie des murs extérieurs hors-sol occupé par la fenestration (WWR) est en moyenne de 13 % pour cette typologie, avec une distribution qui priorise un axe (Nord-Sud ou Est-Ouest). On voit qu'en moyenne 70 % de la superficie vitrée se trouve sur cet axe.

La Figure 6 montre la géométrie du bâtiment qui en résulte.

#### 4.1.3.6. Maison en rangée

La maison en rangée a 2 étages et une superficie plancher totale de 156.75 m<sup>2</sup>, partitionnée sur 3 étages (rez-de-chaussée, deuxième étage et sous-sol).

L'archétype en rangée aura deux variantes, un qui représente le bâtiment en rangée au milieu, avec des murs adiabatiques au deux côtés. L'autre représente un bâtiment en rangée au coin, qui aura donc uniquement un mur adiabatique sur un côté.

Le pourcentage de superficie des murs extérieurs hors-sol occupé par la fenestration (WWR) est en moyenne de 19 % pour cette typologie, avec une distribution qui uniquement sur un axe (Nord-Sud ou Est-Ouest).

La Figure 4 montre la géométrie du bâtiment qui en résulte.

Tableau 3 : Les géométries des bâtiments, générées dans SketchUp

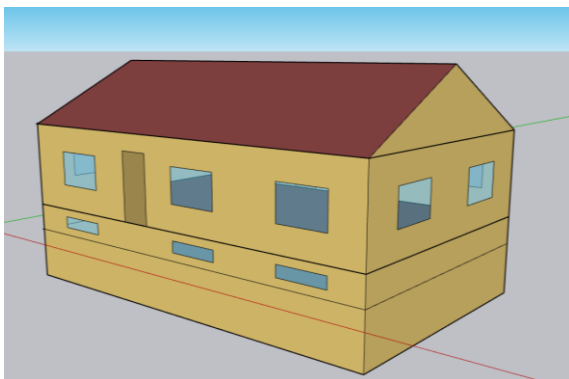


Figure 1 : maison détachée – 1 étage

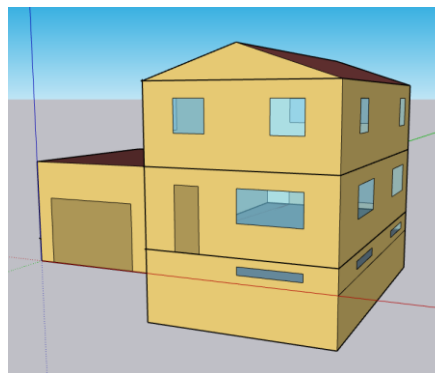


Figure 2 : maison détachée - 2 étages - Pre1980

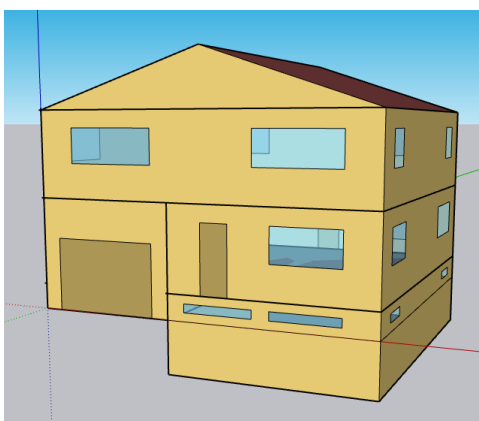


Figure 3 : maison détachée - 2 étages - Post1980

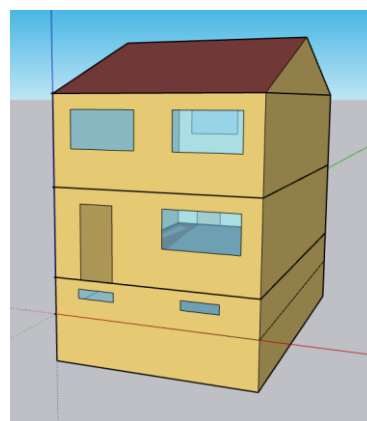


Figure 4 : maison en rangée

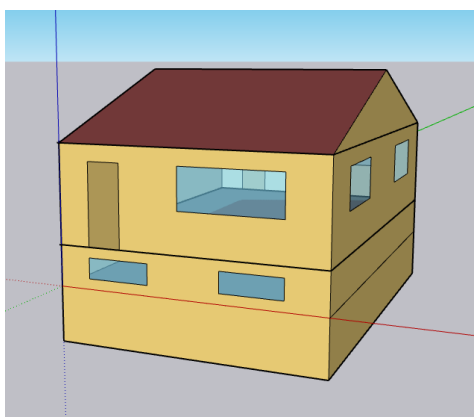


Figure 5 : maison semi-détachée - 1 étage

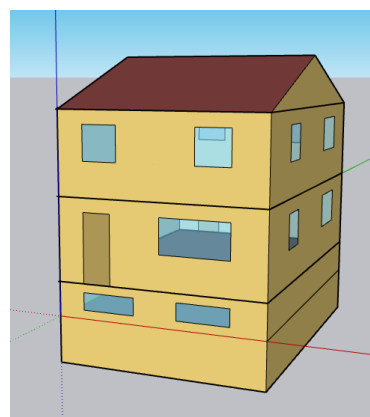


Figure 6 : maison semi-détachée - 2 étages

## 4.2. Définition des parois

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.

### 4.2.1. 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 présentés 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.

#### 4.2.2. 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 reflétée par la résistance thermique qui est présentée dans le rapport final du projet (Hydro-Québec, 1994). Ici, une valeur RSI moyenne est donnée qui reflète la moyenne des résistances 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 composantes typiques 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.

#### 4.2.3. 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 basées 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).

##### Propriétés radiatives des parois opaques :

L'émittance 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).

#### Dalle du sous-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. On reviendra sur les impacts de cette hypothèse dans la discussion dans la section 6.

Tableau 4 : Propriétés de la dalle du sous-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
$RSI_{eff} [m^2 K W^{-1}]$	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

#### Murs du sous-sol

Les murs du sous-sol sont en béton avec une isolation par l'intérieur (LTE, 2016). La résistance thermique totale moyenne est donnée par ÉVAL-ISO. L'épaisseur de l'isolant est calculée pour arriver à une résistance thermique effective qui est en accord avec cette valeur de  $RSI_{tot}$ .

Tableau 5 : Propriétés des murs du sous-sol

	Pre 1945	1946-1970	1971-1985	1986-2012	Nouvelle construction
Type de construction	Mur en béton lourd Avec panneau isolant de 45 mm	Mur en béton lourd Avec panneau isolant de 55 mm	Mur en béton lourd Avec panneau isolant de 65 mm	Mur en béton lourd Avec panneau isolant de 80 mm	Mur en béton lourd Avec panneau isolant de 80 mm
$RSI_{eff} [m^2 K W^{-1}]$	1.77	2.12	2.53	3.0	3.0

#### 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 indiqué par ÉVAL-ISO, de l'isolant est ajouté à l'intérieur de la construction en supposant que des rénovations ont été effectuées.

Tableau 6 : Propriétés des murs extérieurs

	Pre 1945	1946-1970	1971-1985	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	Ossature bois 2x4 avec isolant, isolant ajouté à l'intérieur
$RSI_{tot} [m^2 K W^{-1}]$	2.56	2.46	3.03	3.64	4.31
$RSI_{eff} [m^2 K W^{-1}]$	2.56	2.49	2.34	2.95	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.

#### Plafond en-dessous de l'entretoit et la toiture

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

	Pre 1945	1946-1970	1971-1985	1986-2012	Nouvelle construction
Type de construction	Ossature bois 2x10 sans isolant, isolant ajouté dans l'entretoit	Ossature bois 2x10 avec isolant, isolant ajouté dans l'entretoit	Ossature bois 2x10 avec isolant, isolant ajouté dans l'entretoit	Ossature bois 2x10 avec isolant, isolant ajouté dans l'entretoit	Ossature bois 2x10 avec isolant, isolant ajouté dans l'entretoit
$RSI_{tot} [m^2 K W^{-1}]$	3.46	4.33	4.8	5.45	7.22
$RSI_{eff} [m^2 K W^{-1}]$	3.75	4.61	5.08	5.73	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 dans l'entretoit pour tous les assemblages et que la construction originale n'a pas été touchée.

### 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.

### Murs vers le garage

Comme le garage est traité comme une espace non-chauffé, les murs vers le garage ont les mêmes exigences que les murs extérieurs en termes de performance thermique. On utilise la même construction que pour les murs extérieurs, mais le bardage de vinyle est remplacé par des panneaux de gypse.

### 4.2.4. 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 basé 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). 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) est nécessaire pour pouvoir rentrer la valeur dans l'équation. La conversion est faite en utilisant les dimensions d'une maison unifamiliale « moyenne ». Il faut inclure le coefficient de décharge qui est supposé être 0.65.

Les valeurs  $ACH_{50}$  utilisés sont les suivantes (Tableau 8) :

Tableau 8 : Valeurs d'étanchéité en  $ACH_{50}$

Période de construction	Étanchéité $ACH_{50}$
Avant 1945	9.28
1946-1970	6.06
1971-1985	4.68
1986-1992	4.17

On donne quelques exemples des valeurs ELA obtenues :

- Pour une maison détachée à 1 étage avant 1945, ELA à 4 Pa = 160 cm<sup>2</sup>
- Pour une maison détachée à 2 étages de 1971-1985, ELA à 4 Pa = 162 cm<sup>2</sup>

### 4.3. Propriétés de la fenestration

Les fenêtres sont modélisées avec un objet EnergyPlus 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.

Pour les archétypes pour les bâtiments existants, 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 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>, un coefficient de gains solaires (*solar heat gain coefficient*, SHGC) de 0.67 et une transmittance visible de 0.8.

Les fenêtres pour l'archétype de nouvelle construction ont un U-value de 1.8 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>, un SHGC de 0.46 (CNRC-RBQ, 2022) et une transmittance visible de 0.8.

## 4.4. Système CVCA

Les archétypes sont équipés 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, n.d.-a, Tableau 22), ainsi que dans les réponses au questionnaire de l'outil de performance énergétique (OPE) d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2023). À peu près 70 % des maisons des clients qui ont répondu au questionnaire ont des plinthes électriques pour le chauffage des espaces.

Les archétypes seront donc équipés de 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).

### 4.4.2. Climatisation des espaces

Selon les réponses au questionnaire d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2023), 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. Les climatiseurs muraux et les unités de fenêtre ayant un fonctionnement similaire, ils sont modélisés 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* ».

#### 4.4.3. 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. Un modèle de ventilation dans la toiture a été ajouté et un modèle de ventilation naturelle. On a également ajouté l'option d'inclure un VRC pour les nouvelles constructions et les maisons récentes.

##### 4.4.3.1. Ventilation mécanique

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 (mais pas de nouvelles constructions), les classes d'années de construction actuelles se prêtent mal à une distinction « avec ou sans ventilation et VRC ». Si une classe « avec ventilation et VRC » était identifiée, 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).

##### 4.4.3.2. Extraction d'air vicié

Le modèle ne comprend pas d'extraction d'air vicié explicitement. Vu qu'une l'utilisation des ventilateurs d'extraction d'air est lié à des actions des occupants, cela représente une charge difficile à modéliser. On pourrait l'introduire en supposant une charge moyenne par jour qui redistribue l'utilisation sur un profil moyenné. Mais vu que l'extraction d'air est compensée par l'infiltration, on suppose que l'impact peut également être inclus avec une calibration de l'infiltration.

##### 4.4.3.3. Ventilation de la zone sous toiture

Dans la modélisation, une ventilation de la zone sous la toiture (grenier) est ajoutée, comme on le retrouve en réalité. La ventilation est modélisée avec un objet « ZoneInfiltration :DesignFlowRate », qui permet de

définir un taux d'infiltration qui sera affecté par la pression du vent et l'effet de cheminée (différence de température), en utilisant l'équation suivante :

$$V = (V_{design})[A + B|T_{zone} - T_{amb}| + C(V_{wind}) + D(V_{wind})^2]$$

Les coefficients utilisés sont ceux de BLAST : A = 0.606, B = 0.03636, C = 0.1177, D = 0. Le taux d'infiltration de base est défini à 3 ACH. En utilisation ces hypothèses, le taux d'infiltration varie entre 1.5 et 5 ACH pendant la simulation, selon des conditions, ce qui est du même ordre de grandeur que les résultats de simulation CFD qui ont été faits pour des maisons dans des climats comparables (Tariku & Iffa, 2016).

#### 4.4.3.4. Ventilation naturelle

Le modèle comprend un modèle simple de ventilation naturelle qui permet de simuler l'entrée d'air frais par ouverture des fenêtres.

On utilise l'objet « ZoneVentilation :WindStackOpenArea ». Ce modèle d'EnergyPlus utilise un algorithme simple qui permet de décider *quand* les fenêtres sont ouvertes, en se basant sur les conditions extérieures et intérieures. On utilise cette stratégie de commande simple pour simuler l'utilisation de la ventilation naturelle pour la climatisation des espaces. Quand la température de la zone est plus élevée que la température de consigne pour la climatisation, et que la température extérieure est inférieure, une fraction (30 %) des fenêtres est ouverte. Le taux de ventilation est ensuite calculé par le modèle se basant sur les conditions intérieures et extérieures. L'utilisation de ce modèle permet une réduction des charges de climatisation.

## 4.5. Eau chaude domestique

La 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.

### 4.5.1. Profil de consommation

Le profil horaire de la charge électrique provient des documents préparés par le LTE (Sansregret, 2024a, 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.

### 4.5.2. Modélisation de la consommation

La consommation électrique est introduite par un objet de « *Electric Equipment* ». Il est possible de spécifier la fraction de la charge qui sera transformé en charge latente, radiante ou convectif, ainsi que la fraction de la charge qui est « perdue » et ne sera donc pas transformé en gains internes. On suppose que 99% de la charge est perdue, et que le reste est converti en charge convective.

La charge est modulée par un profil horaire, qui représente à quelle fraction de la charge maximale on opère à chaque moment. La consommation annuelle liée à l'eau chaude domestique est 3086 kWh et la puissance maximale est de 888 W.

## 4.6. Charges d'éclairage et des équipements

Les charges d'éclairage et des équipements électriques sont modélisées de la même façon que le chauffe-eau. Des données diverses ont été analysées par le LTE (Sansregret, 2024b) 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.

Les charges sont déterminées en valeur absolue pour le bâtiment au complet. La définition dans le modèle énergétique demande de spécifier dans quels zones thermiques les charges sont présentes. Il est donc nécessaire de définir la distribution des charges dans les zones du bâtiment. Pour garder la simplicité de la définition dans le modèle, les charges sont partagées de façon homogène sur tous les étages « habités », qui sont donc les étages du bâtiment hors sol et le sous-sol, mais excluant le grenier. La répartition tient compte du nombre d'étages mais pas de leur superficie.

Le Tableau 9 résume les définitions des charges.

Tableau 9 : Résumé des charges d'éclairage et des équipements

Type d'équipement	Puissance Maximale [W]	Consommation annuelle [kWh]
Réfrigérateur	120.2	669
Congélateur	40	244
Lave-vaisselle	88.9	112
Four/cuisinière	355.3	412
Laveuse	44.9	44
Sécheuse	464.3	661
Éclairage intérieur	226.3	445
Éclairage extérieur	28.8	123
Autres	1385.5	5230

On notera que la consommation annuelle totale pour l'éclairage et les équipements est de 7940 kWh/an, ce qui est élevé par rapport à la consommation présentée dans la base de données complètes sur l'énergie de Ressources Naturelles Canada, qui est plutôt de l'ordre de 5500 kWh/an pour le secteur résidentiel

québécois (6500 kWh/an et 6000 kWh/an pour les maisons unifamiliales détachées et attachées, respectivement) (RNCan-OEE, n.d.-a, Tableaux 2, 35, et 37).

## 4.7. Occupants

L'horaire de présence suit le même profil qui a été établi dans l'étude précédente. 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 2.84 occupants par bâtiment, une valeur qui provient également de l'analyse des données d'Hydro-Québec (Sansregret, 2024b).

## 4.8. 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. Selon les données de OPE, les maisons unifamiliales ont en moyenne 9 pièces, qui comprennent les chambres à coucher, salle(s) de bain(s), cuisine(s), salle(s) à manger et salon(s). Souvent, au moins deux de ces pièces sont combinées et n'ont donc pas de partition (par exemple, cuisine et salle à manger).

On suppose donc qu'en moyenne, chaque maison a 8 pièces qui sont séparées par des murs intérieurs. La masse thermique est définie en fonction des dimensions de la maison, en supposant que les murs intérieurs se trouvent sur 2 étages : le rez-de-chaussée et deuxième étage s'il y en a un, sinon on suppose qu'il y a aussi des partitions dans le sous-sol. La superficie d'échange des partitions suppose que les murs traversent tout la longueur et largeur de la maison, et qu'ils sont de la même hauteur que l'étage auquel ils se trouvent. Les murs intérieurs sont composés d'ossature bois (2" x 4") et de panneaux de gypse de chaque côté. Les propriétés des matériaux peuvent être consultées dans la base de données des assemblages de construction.

## 5. Résultats préliminaires et comparaison avec les données disponibles

Une validation approfondie sera faite dans une prochaine étape de l'étude. On résume quelques résultats préliminaires ici.

Les simulations ont été exécutées en utilisant les données de la station de l'aéroport de Montréal, située à proximité des plus grands centres urbains du Québec. 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 des différents modèles varie entre 13 000 kWh pour une maison en rangée avec une enveloppe selon les directives du code de construction la plus récente et 21 850 kWh pour une maison détachée de deux étages construit avant 1945. Les valeurs se situent en moyenne en-dessous de la consommation moyenne qui est d'environ 21 000 kWh selon les données d'Hydro-Québec. Les résultats associés à chaque archétype sont résumés dans le Tableau 10.

Ces résultats diffèrent aussi considérablement des modèles conçus pendant la première étape du projet. La différence provient principalement de la nouvelle hypothèse des valeurs d'infiltration. Pendant la première étape, le taux d'infiltration était identifié comme étant trop grand, puisque l'infiltration était responsable d'environ 50 % des besoins en chauffage du bâtiment. La nouvelle méthode doit encore être validée.

On voit également un changement dans les hypothèses des charges non-liées au système CVCA, qui ont presque doublé, ce qui a surtout un impact sur les estimations de la charge de chauffage, qui a été réduite significativement. Dans le dernier rapport, la fraction de la consommation liée au chauffage était identifiée comme étant autour de 55 % selon les données de Hydro-Québec. La fraction de chauffage dans les archétypes était autour de 60 %. Ce pourcentage se trouve maintenant autour de 40 % pour les bâtiments détachés, et aussi peu que 10 % pour une maison en rangée avec une enveloppe performante. Il sera possible de faire une analyse plus en profondeur lors de l'étape de validation.

Tableau 10 : Résultats de simulation des archétypes : la consommation annuelle en kWh

<b>Consommation Annuelle [kWh]</b>	Pre 1945	1946-1970	1971-1985	1986-2012	Nouvelle construction
Détaché 1 étage	19 634	18 493	18 070	17 291	16 114
Détaché 2 étages - petit	21 825	20 689	19 153	-	-
Détaché 2 étages - grand	-	-	-	20 263	19 758
Semi-Détaché 1 étage	18 371	17 542	17 225	16 688	16 057
Semi-Détaché 2 étages	20 364	19 153	18 745	17 886	16 858
Rangée coin	17 648	16 433	16 016	15 166	14 276
Rangée milieu	15 036	14 242	13 939	13 543	12 819



Des critères dynamiques décrivant la consommation et l'appel de puissance en électricité ont été calculés sur la base des données mesurées d'Hydro-Québec. Une comparaison préliminaire de ces critères dynamiques avec les résultats de simulation des archétypes confirment des écarts notables, qui sont cohérents avec les écarts constatés pour les consommations annuelles. En particulier, on constate une surestimation de la charge de base et sous-estimation de la sensibilité de la consommation à la température extérieure (pente d'une régression entre les données de consommation et la température extérieure). On voit également des écarts dans les valeurs de la pointe de chauffage et de la pointe de climatisation, qui sont largement sous-estimées, et des décalages dans la pointe de chauffage le soir et le matin, qui sont probablement dus aux horaires des consignes des thermostats dans la simulation.

## 6. Discussion et Conclusion

Le rapport résume les résultats de l'étude précédente sur l'identification des 7 typologies qui sont les plus représentatives des caractéristiques géométriques des maisons unifamiliales Québécoises. On donne une description de leurs géométries, qui est ensuite modélisée dans SketchUp.

Les hypothèses utilisées pour définir les autres caractéristiques sont décrites, introduisant des nouvelles approches par rapport à l'étude précédente qui avait permis d'établir le premier archétype résidentiel. On utilise des données provenant de l'étude ÉVAL-ISO (Hydro-Québec, 1993, 1994) pour définir les composantes de l'enveloppe et le taux d'infiltration. Les composantes de l'enveloppe sont définies avec leurs propriétés thermiques dans une base de données commune qui facilitera la création de nouveaux archétypes et la mise à jour des archétypes existants. Les charges non-liées au système de chauffage, ventilation et conditionnement d'air (CVCA) sont redéfinies selon les profils fournis par le Laboratoire des Technologies de l'Énergie (Sansregret, 2024a, 2024b). De nouveaux aspects ont été ajoutés par rapport à la ventilation, comme la ventilation naturelle, la ventilation dans l'espace sous toiture et l'utilisation d'un ventilateur avec récupération de chaleur (VRC) dans les bâtiments de nouvelle construction.

Certaines limitations devraient être considérées dans les prochaines études :

- Dans la simulation, la température du sol est par défaut fixée à 18 °C et constante durant toute l'année. La dalle du sous-sol 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. Ce problème a déjà été identifié pendant l'étude précédente. Des pistes d'amélioration ont été explorées. Le moteur de calcul d'EnergyPlus permet de modéliser le contact avec le sol de différentes façon plus précises, mais celles-ci ne sont pas disponible dans l'application d'OpenStudio. Une modélisation propre de la température du sol nécessitera le développement d'une *measure* dans OpenStudio qui permettrait d'utiliser un des méthodes disponibles dans EnergyPlus.
- L'infiltration cause une grande incertitude sur les résultats, en raison de l'incertitude sur sa valeur nominale (par exemple le taux de changement d'air par heure à 50 Pa) mais aussi en raison des modèles utilisés pour représenter sa variation en fonction des conditions intérieures et extérieures. Comme mentionnée dans la section 4.4.3.2, l'extraction de l'air vicié n'a pas été modélisée explicitement, en supposant qu'il sera possible d'intégrer cet effet dans la calibration globale de l'infiltration.

Les résultats préliminaires confirment l'importance de certains paramètres comme l'infiltration et la charge de base pour les consommations non-liées au système CVCA. Les archétypes actuels donnent des résultats notablement différents du premier archétype, et autant les consommations annuelles que les critères dynamiques de consommation (comme la demande de pointe) montrent des différences notables avec les données mesurées disponibles (Hydro-Québec, 2023). Le travail de calibration et de validation visera à améliorer la concordance entre les résultats des archétypes et les données mesurées.

## 7. Références

- 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.
- CanmetENERGY. (2022). *NRCan Housing Archetypes for Energy Analysis*. Natural Resources Canada. <https://github.com/canmet-energy/housing-archetypes/tree/main>
- 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>
- 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>
- ECC Canada. (2020). *Canadian Weather Energy and Engineering Datasets (CWEEDS) and Canadian Weather Year for Energy Calculation (CWECE)—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)
- 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, August). *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.
- Neale, A. (2021). *Development of a bottom-up white-box residential building stock energy model* [PhD thesis]. Polytechnique Montréal.
- RNCan. (2023). *Hot2000*. Ressources Naturelles Canada. <https://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/homes/professional-opportunities/tools-industry-professionals/20596>
- RNCan-OEE. (n.d.-a). *Base de données complète sur la consommation d'énergie*. Ressources Naturelles Canada, Office de l'Efficacité Énergétique. Retrieved February 20, 2024, from [https://oe.e.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/tableaux\\_complets/liste.cfm](https://oe.e.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/tableaux_complets/liste.cfm)

- RNCan-OEE. (n.d.-b). *Base de données nationale sur la consommation d'énergie*. Gouvernement du Canada, Ressources naturelles Canada, Office de l'Efficacité Énergétique. Retrieved February 20, 2024, 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)
- 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.
- 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>
- Tariku, F., & Iffa, E. D. (2016). *Study of Airflow in Attic Space*. British Columbia Institute of Technology. <https://research-library.bchousing.org/Home/ResearchItemDetails/1523>
- 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)* (Issue December). National Renewable Energy Laboratory.