

Chauffer mieux

Consumer Tool

Methodology Notes

Prepared for:



Partenariat
Climat MTL

April 2025



Written for:



Partenariat Climat Montréal

Prepared by:



Dunsky Energy + Climate

50 Sainte-Catherine St. West, suite 420
Montréal QC H2X 3V4

www.dunsky.com | info@dunsky.com
+1 514 504 9030

With the support of:

Vivre en Ville
Concordia University
École de technologie supérieure (ÉTS)

About Dunsky



Dunsky supports leading governments, utilities, corporations and others across North America in their efforts to accelerate **the clean energy transition**, effectively and responsibly.

With deep expertise across the Buildings, Mobility, Industry and Energy sectors, we support our clients in two ways: through rigorous **Analysis** (of technical, economic and market opportunities) and by designing or assessing **Strategies** (plans, programs and policies) to achieve success.



ACCELERATING THE CLEAN ENERGY TRANSITION



ANALYSIS + STRATEGY



BUILDINGS



MOBILITY



INDUSTRY



ENERGY



GOVERNMENTS UTILITIES CORPORATE + NON-PROFIT

Dunsky is proudly Canadian, with offices and staff in Montreal, Toronto, Vancouver, Ottawa and Halifax. Visit dunsky.com for more information.

Table of Contents

Table of Contents	1
1. Background	2
2. Methodology	3
2.1 Economic approach	3
2.2 Building archetypes	3
2.3 Solutions for better heating	4
2.4 Dunsky's HEAT™ model	4
2.4.1 Simulated energy performance	4
3. Inputs	6
3.1 Building Archetypes	6
3.1.1 Segments.....	6
3.1.2 Construction Vintage.....	6
3.1.3 Existing building	6
3.1.4 Improved building envelope efficiency.....	7
3.1.5 Resulting heating loads.....	7
3.2 Equipment and configurations	8
3.2.1 Reference equipment.....	8
3.2.2 Ways to decarbonize heating systems	9
3.2.3 Sizing and controls	10
3.2.4 Equipment Energy Performance	11
3.2.5 Dynamic Peak Load Management Systems	13
3.3 Economic Inputs	14
3.3.1 Equipment installation costs.....	14
3.3.2 Electrical panel upgrade.....	15
3.3.3 Financial assistance available	15
3.3.4 Energy price projections.....	17
3.3.5 GHG emission projections	19
3.4 Climate data	20
Appendix.....	21

1. Background

The aim of this initiative is to develop a **simple, accessible decision-making tool**, enabling users to quickly identify the best ways to heat their homes or commercial premises more efficiently. The **Chauffermieux.com** tool integrates energy substitution, partial and complete electrification and the use of renewable energies such as geothermal, aerothermal and renewable natural gas, where appropriate, as well as energy efficiency focused on the building's thermal envelope.

The initiative provides operational leverage for the implementation of the [2030 Plan for a Green Economy - Framework Policy on Electrification and the Fight Against Climate Change](#) (November 2020). With a view to the intelligent electrification of buildings, the tool aims to guide consumers toward the most appropriate solutions based on the capacity of the electrical network, particularly as to peak management, while limiting energy requirements. This is all the more important in the Montréal context, where climate targets for buildings have recently been enhanced and brought forward by 10 years, as indicated in the City's roadmap [Towards zero-emission Montréal buildings by 2040](#) (in French). The tool also aligns with [Montréal's Climate Plan 2020-2030](#) [PCM] (actions 24, 25 and 27).

The present report describes the methodology used to calculate the cost-effectiveness of different heating systems for Montréal households and homeowners. **This report is aimed at a relatively expert reader who would like to better understand the methodology and assumptions leading to the solutions offered.**

The tool analyzes several hundred combinations of building archetypes, construction eras and reference heating and cooling systems, and assesses the cost-effectiveness and impacts of decarbonization, energy efficiency and substitution options.

Chauffermieux.com was developed with the support of Concordia University and the École de Technologie Supérieure (ÉTS).

The steering committee, led by Vivre en Ville, includes representatives from Ville de Montréal, Hydro-Québec and Énergir, as well as Dunsky, Concordia and ÉTS.

2. Methodology

2.1 Economic approach

The tool presents costs as an **annual average of total costs**, i.e., the total cost of the primary heating equipment, averaged over its lifetime.

The calculation includes the cost of purchasing and installing equipment (heating and air conditioning¹), electrical system upgrades where applicable, available financial aid, maintenance costs, as well as bills for the energy sources used (heating oil, natural gas, renewable natural gas [RNG], electricity).

Cash flows are presented as net present value, with a discount rate of 6.86% (in real terms), which represents the opportunity cost of the investment. Flows are then annualized to facilitate comparison.

Cash flows representing the future replacements required for certain equipment are calculated (e.g., window air conditioners, which have a shorter useful life than heating equipment). At the end of the useful life of the primary heating equipment, a residual value is thus considered for the other equipment (equipment useful lifetimes are presented in section 3.3.1).

Tariff projections are applied to the annual energy consumption of each configuration and are detailed in section 3.3.4.

2.2 Building archetypes

The tool incorporates several predefined archetypes, designed to cover as many real-life cases as possible. The idea is not to provide the user with a precise calculation for their situation, but rather to guide their choice toward an ordered sequence of the most promising paths, informed by a case similar to their own.

By cross-referencing public data sources, we were able to identify the main features of each building on the island of Montréal. After selecting the seven most relevant building usages using statistical analysis (see section 3.1.1), the Concordia team carried out a clustering analysis to identify the specific building that best represents the average of the buildings in each sub-group. The methodology report covering this statistical analysis is presented in the Appendix below.

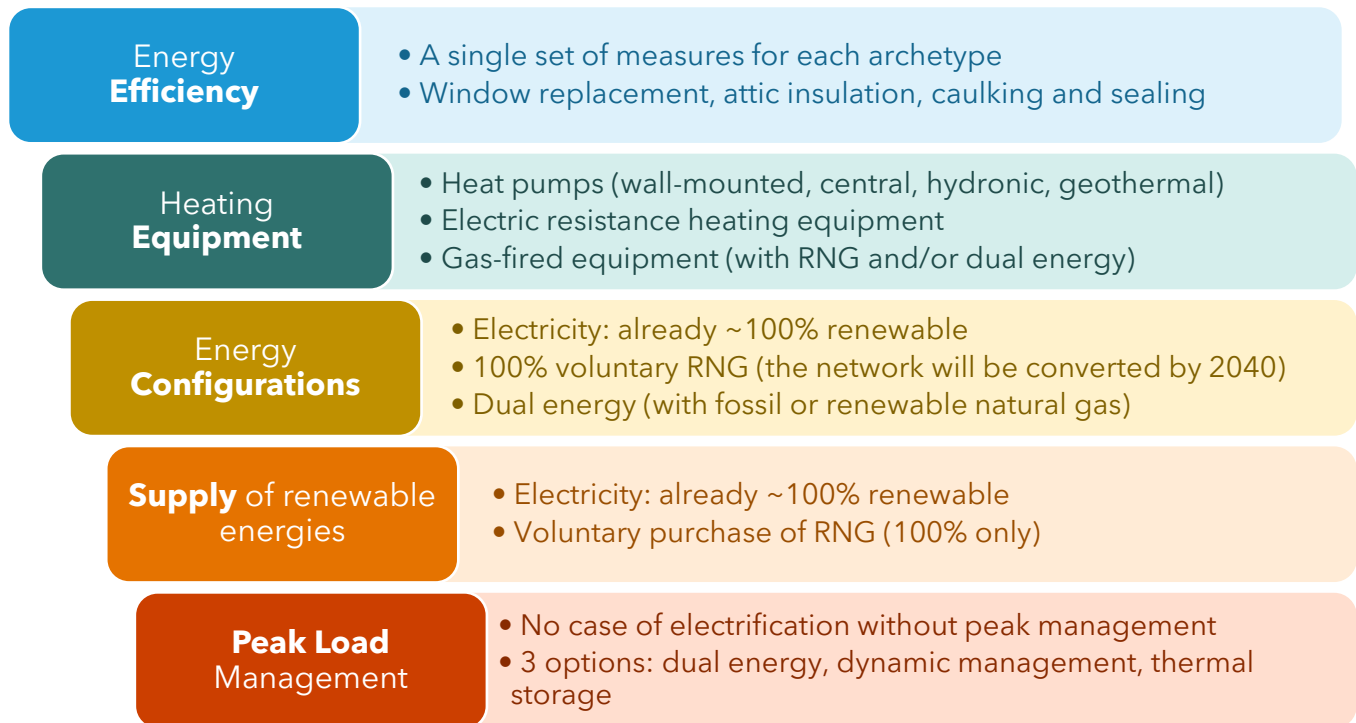
In this way, each archetype represents an average theoretical building, developed from a real building representing that archetype as closely as possible.

The Concordia team modelled each of the 25 real buildings in the *EnergyPlus* simulation software to obtain hourly heating and cooling consumptions. These loads are then integrated into Dunsky's HEAT™ heating decarbonization model, presented in section 2.4, to analyze the cost-effectiveness of the various solutions.

¹ Air conditioning is included by default. Because heat pumps provide both heating and cooling, an air conditioner is therefore taken into account to compare various options on the same basis.

2.3 Solutions for better heating

Overall, the tool presents five main ways to achieve better heating:



2.4 Dunsky's HEAT™ model

Dunsky's exclusive **heating decarbonization model (HEAT™)** was developed to reflect the unique characteristics of cold-climate regions like Québec. HEAT™ integrates thousands of heat pump measures including all technologies (wall-mounted, central and hydronic; aerothermal and geothermal), and models their performance in any configuration (hybrid, dual energy or all-electric with peak management). The model offers a sophisticated approach to assessing the current and future operation of heat pump technologies and providing context-specific economic calculations.

Combined with Dunsky's knowledge of heating decarbonization options, including their costs and feasibility, as well as our strategic perspectives, HEAT™ enables us to make and defend informed decisions on heating decarbonization strategies. It has been used across Canada and the United States to forecast heat pump adoption based on multiple scenarios, assess electrification potential as part of techno-economic potential studies, obtain forecasts of the impact on the load profile of power grids, and assess the level of market intervention required to achieve efficiency, demand management and/or decarbonization objectives.

2.4.1 Simulated energy performance

HEAT™ considers the performance of heat pumps on an hourly basis, taking into account their heating capacity and efficiency in relation to outdoor temperature. Using 8,760 hourly climate data points specific to the Montréal region and energy performance curves, HEAT™ provides seasonal system performance based on archetypes and tool parameters (see results in section 3.2.4).

Automated sizing and costing in HEAT™

Since heat pump capacity decreases as outdoor temperatures drop, sizing strategies aim to determine the right balance to take advantage of heat pump efficiency, while limiting costly oversizing. Optimal strategies may differ depending on the energy configuration, since auxiliary heating equipment may induce various installation and energy cost considerations. HEAT™ automatically sizes all the heating equipment based on each building's heating load, local climate data and specific sizing strategy (see section 3.2.3).

HEAT™ then calculates the costs based on the required sizing.

3. Inputs

3.1 Building Archetypes

3.1.1 Segments

The tool analyzes four archetypes for residential buildings and three for small commercial buildings:

Residential	Commercial
1. Single-family house 2. Townhouse 3. Apartment (heating one dwelling) 4. Multi-unit building (heating the entire building)	5. Small office 6. Small-scale detached retailer 7. Attached commercial premise

3.1.2 Construction Vintage

Each segment is characterized according to the following construction vintages, which are based on a combination of market data and construction codes/practices updates:

Residential	Commercial
1946 or before	1946 or before
1947-1983	1947-1983
1984-2011	After 1983
After 2011	

The result is a **total of 25 archetypes** (16 residential and 9 commercial) summarized in section 3.1.5. Photos of the precise archetypes are provided in the Concordia report in the Appendix below.

3.1.3 Existing building

The Concordia team modelled the geometry of the 25 archetypes, then integrated wall, roof, foundation and window constructions, hourly loads of uses and expected occupancy, as well as ventilation operation according to typical schedules. Details are given in the Appendix.

The result is an hourly profile of heating and cooling, lighting, water heating, plug and motor loads. These loads are incorporated into Dunskey's HEAT™ model, to analyze the profitability of various decarbonization options. These hourly loads make it possible to adequately assess monthly bills, including peak electric demand, as well as the network impact of electrification schemes.

3.1.4 Improved building envelope efficiency

The 25 archetypes were modelled in two variants: one representing the current situation, and the other after a package of envelope-focused energy renovations.

Only one set of measures was modelled per archetype, as defined in the following table:

Archetypes	Vintage	Air Sealing	Windows Replacement	Attic Insulation
Single-family house	1946 or before	Yes	Yes	Yes
	1947-1983	Yes	Yes	Yes
	1984-2011	Yes	Yes	Yes
	After 2011	Yes	No	No
Townhouse Apartment (heating one dwelling) Multi-unit (heating the whole building)	1946 or before	Yes	Yes	No
	1947-1983	Yes	Yes	No
	1984-2011	Yes	Yes	No
	After 2011	Yes	No	No
Small detached retailer Attached commercial premises Small office	1946 or before	Yes	Yes	No
	1947-1983	Yes	Yes	No
	After 1983	Yes	No	No

3.1.5 Resulting heating loads

Average floor areas per segment and gross heating loads before and after thermal envelope renovation work for the 25 archetypes are shown below.

Concordia's hourly loads by use (e.g., heating) have been integrated into Dunsky's HEAT™ model. The Appendix describes each real building used as a basis for modelling.

In some cases, Dunsky has applied heating load adjustment factors to be more representative of an average building and typical thermal requirements per vintage.

Segment	Vintage	Average floor area (m ²)	Gross heating load before renovations (GJ/m ²)	Gross heating load after renovations (GJ/m ²)
Detached house	1946 or before	232	0.64	0.46
	1947-1983		0.54	0.37
	1984-2011		0.34	0.27
	After 2011		0.32	0.29
Townhouse	1946 or before	177	0.48	0.36
	1947-1983		0.47	0.36
	1984-2011		0.27	0.22

Segment	Vintage	Average floor area (m ²)	Gross heating load before renovations (GJ/m ²)	Gross heating load after renovations (GJ/m ²)
	After 2011		0.21	0.19
Apartment (heating one dwelling)	1946 or before	97	0.52	0.39
	1947-1983		0.46	0.37
	1984-2011		0.26	0.24
	After 2011		0.23	0.22
Multi-unit (heating the entire building)	1946 or before	1 295	0.66	0.51
	1947-1983		0.46	0.35
	1984-2011		0.37	0.23
	After 2011		0.21	0.20
Small-scale detached retailer	1946 or before	784	0.75	0.63
	1947-1983		0.48	0.43
	After 1983		0.36	0.34
Attached commercial premises	1946 or before	936	0.73	0.64
	1947-1983		0.58	0.53
	After 1983		0.49	0.48
Small office	1946 or before	850	0.79	0.59
	1947-1983		0.59	0.44
	After 1983		0.56	0.50

3.2 Equipment and configurations

3.2.1 Reference equipment

The modelling focuses on space heating and cooling and excludes other energy uses such as domestic hot water, cooking and secondary heating (e.g., fireplaces). Operating costs (energy bills and maintenance) are thus limited to heating and cooling.

The equipment modelled in the reference cases is shown in the table below:

Energy source	Heating equipment	Air-conditioning equipment
Heating oil	Furnace Boiler	Window-mounted air conditioner Ductless mini-split air conditioner
Natural gas	Furnace Boiler Rooftop unit (commercial)	Central ducted air conditioner Rooftop unit (commercial)

Energy source	Heating equipment	Air-conditioning equipment
Electric	Electric baseboards Furnace Boiler Rooftop unit (commercial)	

3.2.2 Ways to decarbonize heating systems

Heating and air conditioning equipment

The following table shows the applicable equipment for the reference case, based on the existing distribution system (ventilation ducts, hot water piping or baseboard heaters) and regulatory considerations (residential oil-fired buildings must be electrified).

Applicable equipment	Reference case								
	Furnace			Rooftop unit (commercial)		Boiler			Base-board
	Gas	Oil	Elec.	Gas	Elec.	Gas	Oil	Elec.	Elec.
RNG supply	■	□ ²		■		■	□ ³		
Electric resistance	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ductless mini-split heat pump						■	■	■	■
Central heat pump	■	■	■						
Rooftop heat pump				■	■				
Hydronic heat pump						■	■	■	
Geothermal heat pump	■	■	■	■	■	■	■	■	
Thermal storage	■	■	■			■	■	■	

Energy Configurations

Certain energy configurations offer opportunities for decarbonization. For example, dual energy is an option for customers heated with natural gas, whereas it is not available to residential consumers heated with oil or electricity.

Although other uses (domestic hot water, cooking, secondary) are excluded from the modelling, the assumption made for full electrification solutions is that these other uses would also be electrified, and that the building would be disconnected from the gas network.

² Option applicable only to commercial segments with access to the gas network.

³ Option applicable only to multi-unit residential buildings with access to the gas network.

3.2.3 Sizing and controls

Analysis of all standard and cold-climate heat pump configurations considers industry-standard system sizing and control strategies.

In all cases, **as heat pumps provide both heating and cooling services, their sizing must take both needs into account.** HEAT™ therefore calculates heating and cooling requirements, and equipment capacity based on the higher of the two values. On the whole, older archetypes are usually sized for heating, while more recent archetypes are sized for cooling, especially if the equipment is not cold-climate and operates less at low temperatures.

Heat pumps are sized to cover the building's heating load at a given outdoor air temperature, and they can be controlled by a changeover temperature (in dual energy mode) or operate in parallel with the auxiliary system (the latter providing only what the heat pump is unable to supply).

For **all-electric heat pump systems**, the sizing temperature was set at -8.3°C, in compliance with Natural Resources Canada guidelines (option 4C for heat pump sizing, which covers most heating in most regions).⁴ For these systems, when the building's heating load exceeds the heat pump's capacity, the heat pump and auxiliary electric heating operate in parallel to meet the heating requirement.

For **systems in dual energy configurations**, the switchover temperature is -12°C, as established in the dual energy offering from Hydro-Québec and Énergir for the climate zone covering Greater Montréal, assuming that the system is equipped with an automatic switchover device.

Table 1. Heat pump sizing and control strategies.

Equipment type	Configuration	Size	Control
Standard central ducted air source heat pump	Dual energy	Sized for air-conditioning	Switchover at -12 °C
	All electric	Sized for air-conditioning	Parallel operation
Cold climate central ducted air source heat pump	Dual energy	Meets heating load at -8.3 °C	Switchover at -12 °C
	All electric	Meets heating load at -8.3 °C	Parallel operation
Standard ductless mini-split air source heat pump	Hybrid (multi-source)	Sized for air-conditioning	Parallel operation
	All electric	Sized for air-conditioning	Parallel operation
Cold climate ductless mini-split air source heat pump	Hybrid (multi-source)	Meets heating load at -8.3 °C	Parallel operation
	All electric	Meets heating load at -8.3 °C	Parallel operation
Central ducted ground source heat pump	Dual energy	Meets heating load at -12 °C	Switchover at -12 °C
	All electric	Meets heating load at -12 °C	Parallel operation
Electric rooftop heating unit	Dual energy	1.25 times heating demand at -12 °C	Switchover at -12 °C

⁴ NRCan - Natural Resources Canada. (2020). [Air-Source Heat Pump Sizing and Selection Guide](#)

Equipment type	Configuration	Size	Control
	All electric	1.25 times peak heating demand	Covers the entire load
Standard rooftop air source heat pump	Dual energy	Sized for air-conditioning	Switchover at -12 °C
Cold climate rooftop air source heat pump	All electric	Meets heating load at -8.3 °C	Parallel operation
Rooftop ground source heat pump unit	Dual energy	Meets heating load at -12 °C	Switchover at -12 °C
	All electric	Meets heating load at -12 °C	Parallel operation
Cold climate hydronic air source heat pump	Dual energy	Meets heating load at -8.3 °C	Switchover at -12 °C
	All electric	Meets heating load at -8.3 °C	Parallel operation
Standard VRF air source heat pump ⁵	Dual energy	Sized for air-conditioning	Switchover at -12 °C
	All electric	Sized for air-conditioning	Parallel operation
Cold climate VRF air source heat pump	Dual energy	Meets heating load at -8.3 °C	Switchover at -12 °C
	All electric	Meets heating load at -8.3 °C	Parallel operation
Electric resistance systems: Furnace, boiler, baseboards, thermal storage	Dual energy	1.25 times heating demand at -12 °C	Switchover at -12 °C
	All electric	1.25 times peak heating demand	Covers the entire load
Combustion systems: Furnace, boiler, rooftop unit	All fossil fuels	2 times peak heating demand	Covers the entire load

3.2.4 Equipment Energy Performance

The HEAT™ model includes Dunsky's database of heat pump performance curves. While these data are proprietary, they have been developed from various sources listed below, supplemented by Dunsky's professional judgment to ensure that the various equipment performance curves are comparable and align with equipment costs.

The main references for heat pump performance curves are as follows:

- AHRI Directory of Certified Product Performance⁶ (median values for hundreds of products)
- NEEP's list of ASHP cold-climate products⁷ (median values for hundreds of products)
- Minnesota Center for Energy and the Environment: field tests of cold-climate heat pumps⁸
- Manufacturer performance data tables for specific products.

⁵ Variable Refrigerant Flow (VRF) system.

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

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

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

Adjustment factors are included to account for outdoor unit defrost cycles, and although we have added factors to account for actual performance, we presume quality installations by qualified contractors.

These curves are used to determine the sizing of equipment, to estimate its capacity and efficiency for each hour of the year based on the outdoor temperature, and the way in which auxiliary heating equipment should be used.

As an example, the following table shows, for two of the 25 archetypes modelled, the share of heating covered by the heat pump and the average Coefficient of Performance (COP) of the complete system over the heating season (which considers the contribution of the auxiliary system).

Equipment type	Configuration	Annual load covered by heat pump	Total system seasonal efficiency (COP)
<i>Single-family home, 1946-1983, without envelope renovations, medium efficiency scenario)</i>			
Oil-fired furnace	All fossil fuels	-	0.83
Gas or RNG furnace	All fossil fuels	-	0.92
Gas or RNG boiler	All fossil fuels	-	0.90
Electric furnace	All electric	-	0.98
Electric boiler	All electric	-	0.97
	Dual energy	-	0.97
Electric baseboards	All electric	-	1.0
Electric resistance element	Dual energy	-	0.98
Standard central ducted air source heat pump	All electric	75%	1.9
	Dual energy	49%	1.4
Cold climate central ducted air source heat pump	All electric	93%	2.5
	Dual energy	70%	1.8
Electric thermal storage unit	All electric	-	1.0
Cold climate hydronic air source heat pump	All electric	93%	2.2
	Dual energy	70%	1.7
Standard ductless mini-split air source heat pump	All electric	70%	1.8
	Hybrid (multi-source)	70%	1.7
Cold climate ductless mini-split air source heat pump	All electric	94%	2.6
	Hybrid (multi-source)	94%	2.6
Central ducted ground source heat pump	All electric	98%	3.5
	Dual energy	80%	2.3
Hydronic ground source heat pump	All electric	98%	2.9
	Dual energy	80%	2.1

Commercial sector (small offices, post-1983, without EEM⁹, medium scenario)			
Electric baseboards	All electric	-	1.0
Gas rooftop heating unit	All fossil fuels	-	0.8
Electric rooftop heating unit	All electric	-	0.98
	Dual energy	-	0.95
Standard rooftop air source heat pump unit	Dual energy	27%	1.0
Cold climate rooftop air source heat pump unit	All electric	89%	2.2
Rooftop ground source heat pump unit	All electric	96%	3.4
	Dual energy	70%	1.8
Standard VRF air source heat pump	All electric	85%	2.0
	Dual energy	50%	1.3
Cold climate VRF air source heat pump	All electric	92%	2.6
	Dual energy	59%	1.5

3.2.5 Dynamic Peak Load Management Systems

All the proposed total-electrification solutions (i.e., the all-electric configurations) include peak load management. These peak management strategies reduce the building's electrical power demand during electrical grid winter peak events. The modelling assumes that all buildings that opt for peak management also adopt preferential tariffs. In the case of buildings that pay for their power demand (e.g., commercial buildings on Rate G), peak management also generates savings on bimonthly energy bills (reduced billed power).

The reduction in building peak demand depends on the strategies used (dynamic management or thermal storage). The following table shows the assumptions used:

Management strategy	Management equipment	Network peak reduction (% of heating capacity)	Building peak reduction (% of heating capacity)
Thermal storage	Central thermal storage unit	100%	30%
Dynamic management	Central smart thermostat	20%	5%
	Distributed smart thermostats		

⁹ Energy Efficiency Measures

3.3 Economic Inputs

3.3.1 Equipment installation costs

Dunskey made use of heat pump cost data collected in previous studies and carried out additional research to verify and update costs to develop a regression analysis of cost versus equipment capacity. This regression allows us to adjust installation costs based on the required sizing and local climate. These installed costs include the purchase and installation (labour) of the equipment.

Data sources used include RSMeans, technical reference manuals for financial aid programs in North America, publicly available retailer costs, and actual bids received for projects. The table below shows average installed equipment costs for two sample archetypes.

Equipment type	Installed Cost (without subsidy)	Expected Useful Life (EUL)
Residential sector (single-family homes, 1946-1983, without EEM, medium scenario)		
Electric thermal storage unit	\$17,000	15 years
Electric boiler	\$3,800	25 years
Gas-fired boiler	\$8,900	25 years
Electric furnace	\$4,700	20 years
Oil-fired furnace	\$6,000	22 years
Gas-fired furnace	\$5,700	22 years
Electric baseboards	\$5,200	25 years
Electric element backup (dual energy)	\$1,100	17 years
Central smart thermostat	\$250	15 years
Distributed smart thermostats	\$500	15 years
Standard central ducted air source heat pump	\$7,700	18 years
Cold climate central ducted air source heat pump	\$17,400	18 years
Cold climate hydronic air source heat pump	\$17,800	18 years
Standard ductless mini-split air source heat pump	\$8,600	18 years
Cold climate ductless mini-split air source heat pump	\$17,200	18 years
Central ducted ground source heat pump	\$40,100	30 years
Hydronic ground source heat pump	\$40,200	30 years
Electrical panel upgrade	\$3,400	¹⁰
Commercial sector (small office, post-1983, without EEM, medium scenario)		
Electric baseboards	\$19,800	25 years
Gas rooftop heating unit	\$29,800	17 years

¹⁰ The cost was calculated using the EUL of the primary heating equipment for each solution.

Equipment type	Installed Cost (without subsidy)	Expected Useful Life (EUL)
Electric rooftop heating unit	\$29,800	17 years
Standard rooftop air source heat pump unit	\$57,200	21 years
Cold climate rooftop air source heat pump unit	\$138,000	21 years
Rooftop ground source heat pump unit	\$219,800	25 years
Standard VRF air source heat pump	\$63,900	18 years
Cold climate VRF air source heat pump	\$91,800	18 years
Smart thermostats	\$500	15 years
Electrical panel upgrade	\$7,300	- ¹⁰
Dedicated electric meter (dual energy)	\$12,200	- ¹⁰

Dynamic Peak Load Management Systems

The costs of dynamic peak management systems vary according to the technologies used and the number of devices installed. For the residential sector, the cost of smart thermostats for electric baseboards corresponds to Hilo's offering (as of April 2025), i.e., \$50 for the gateway and \$40 per thermostat (including installation).¹¹ The number of thermostats per home varies from four for apartments to 10 for single-family homes. The cost of smart thermostats for central systems is an average of sales prices from different manufacturers and installation by a certified electrician.

For the commercial sector, given the commercial archetypes modelled (small to medium-sized) and the type of heating, the dynamic peak management system consists of one (or more) intelligent thermostats. If an energy management system is already in place, this can also be used, but without the installation costs.

3.3.2 Electrical panel upgrade

Panel or electrical input upgrades are considered for cases of complete electrification. In addition, dual energy systems in commercial segments require the addition of a dedicated electric meter for the primary heating equipment.

3.3.3 Financial assistance available

The tool takes into account financial assistance from the Québec government and distributors applicable to the various archetypes, as of early April 2025. Income-eligible and equivalent programs (low-income households, property value limits, etc.) have been excluded from the analysis for simplicity, but are mentioned in the guidelines provided to users, should they be eligible and wish to benefit from them.

In some cases, programs can be combined up to maximum values. The tool adds up financial assistance whenever possible, considering applicable limits. Where cumulative financing is not

¹¹ The modelling results presented in the *Chauffermieux.com* tool were developed before the announcement of Hydro-Québec's Energy Efficiency plan at the end of April 2025, which included a new Hilo offering of free smart thermostats for residential customers.

permitted, Dunsky has selected the most advantageous financial assistance. In the tool, hyperlinks to all the programs available for a given solution are presented; the user can therefore choose from among these programs, although the financial assistance may not necessarily be cumulative.

Residential:

Administrator	Program	Technologies	Amount
Hydro-Québec	LogisVert	Air source heat pump	\$120 per kBTU/hr at -8°C
		Ground source heat pump	\$750 per kBTU/hr
		Thermal storage	\$15,000 (without heat pump) \$22,000 (with central heat pump)
		Peak Load Management	15-25% bonus for dynamic pricing or Hilo subscription
Gouvernement du Québec	Chauffez Vert (Heating oil removal)	Conversion from oil to electricity	\$1,275 per single-family home \$875 per townhouse \$550 per apartment (ind. or multi.)
	Chauffez Vert (Dual energy gas-electricity)	Dual energy forced-air system	House and apartment: \$6,800 Multi-unit housing: \$1,600 x number of units
		Dual energy hydronic system	House and apartment: \$3,600 + up to \$2,200 for electrical upgrade Multi-unit housing: \$1,500 x no. of units + up to \$5,300 for electrical upgrades
Énergir	Decarbonization incentive program (PED)	Dual energy RNG or 100% RNG	\$200 per tCO ₂ avoided in Year 1, with a minimum commitment of 5 years

Commercial:

Administrator	Program	Technologies	Amount
Hydro-Québec	Effective solutions (OSE 5.1)	Air source heat pump – split system	Cold climate: \$59 per kBTU/hr at 8°C Standard: \$51 per kBTU/hr at 8°C
		Air source heat pump – central	Cold climate: \$715 per BTU/hr Standard: \$85 per BTU/hr
		Rooftop heat pump unit	Cold climate: \$715 per kW Standard: \$85 per kW

Administrator	Program	Technologies	Amount
		Ground source heat pump	\$2,050 per kW
		Thermal storage	\$56 per kWh
Gouvernement du Québec	Écoperformance (standard implementation)	Energy efficiency or conversion	\$125 per tCO ₂ avoided over 10 years, minimum payback period 3 years, max 75% of incremental cost
	Écoperformance (dual energy CI)	All equipment in dual energy configuration	80% of additional costs (incl. meter and electrical upgrade), max \$150,000
	Écoperformance (simplified implementation)	Conversion from heating oil to electricity	Retail and multi-unit housing: \$2/L heating oil saved
Énergir	Decarbonization incentive program (PED)	Dual energy RNG or 100% RNG	\$200 per tCO ₂ avoided in Year 1, with a minimum commitment of 10 years

3.3.4 Energy price projections

Dunsky's energy rate forecasts are based on various public sources, future regulations and professional judgements. Each energy source is detailed below. Basic energy rates were updated in April 2025, following the most recent regulatory decisions in Hydro-Québec's 2024 rate case.¹²

We also produced a sensitivity analysis to reflect variations and uncertainties in the possible evolution of energy costs over the next 30 years. However, in its current form, the *Chauffermieux.com* tool does not currently reflect the low and high ranges of this sensitivity analysis. Only the average cost projection is considered. Sensitivity analyses could be integrated into a later version of the tool.

The prices and rates presented below are for information purposes only and are simplified in relation to the level of detail provided in the tool. For example, gas volume pricing is regressive and tiered, which is accounted for in the modelling, but not presented below.

Dual-energy electricity rates are also included in the tool, as are optional demand-side management rates (e.g., Flex D), peak management bill credits such as Hilo and winter credit.

Finally, although electricity rates for the residential sector do not include a component linked to demand (kW), this is the case for commercial customers. Since HEAT™ models each hour of the year, we can automatically calculate the building's peak billed demand for each piece of equipment and energy configuration.

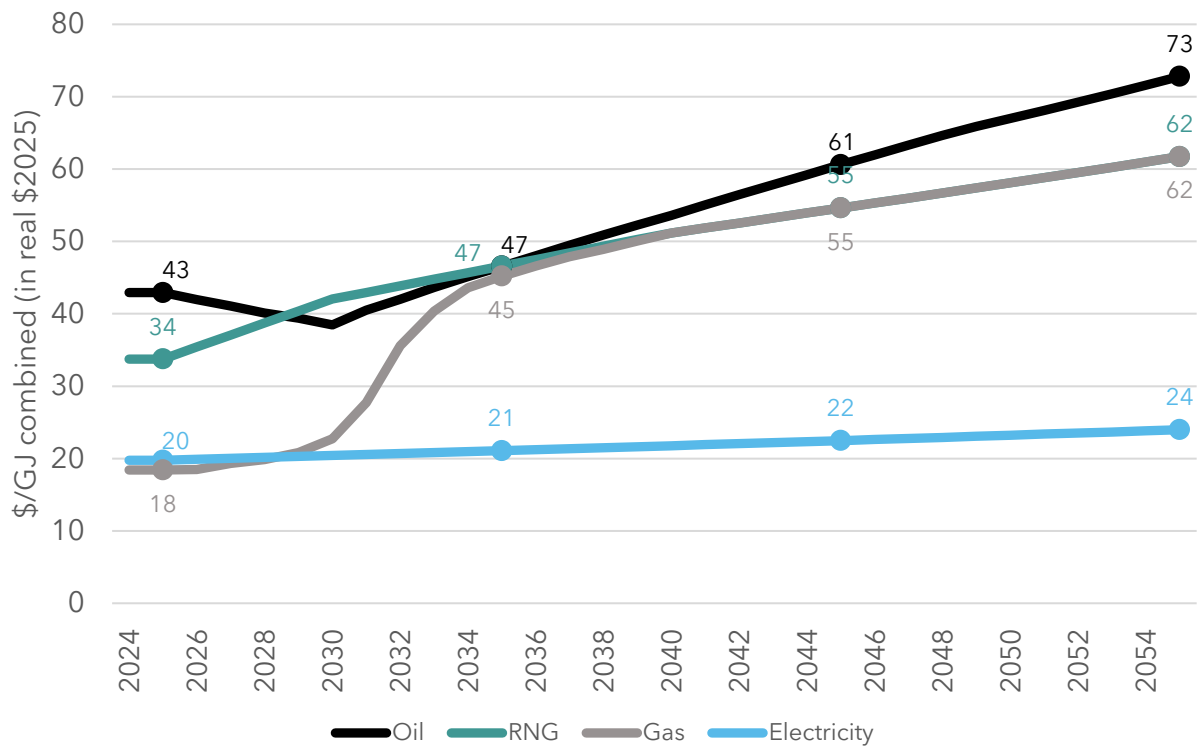
Finally, it should be noted that the projections maintain the current pricing structure.

¹² It should be noted that these inputs were developed before the study of Bill 69 was completed. A future version of the tool may include the resulting pricing structures and projections.

The table below shows the data sources used to determine base prices as of April 2025 and the future cost trends by energy source. The graphs illustrate the “average” scenario for future energy costs.

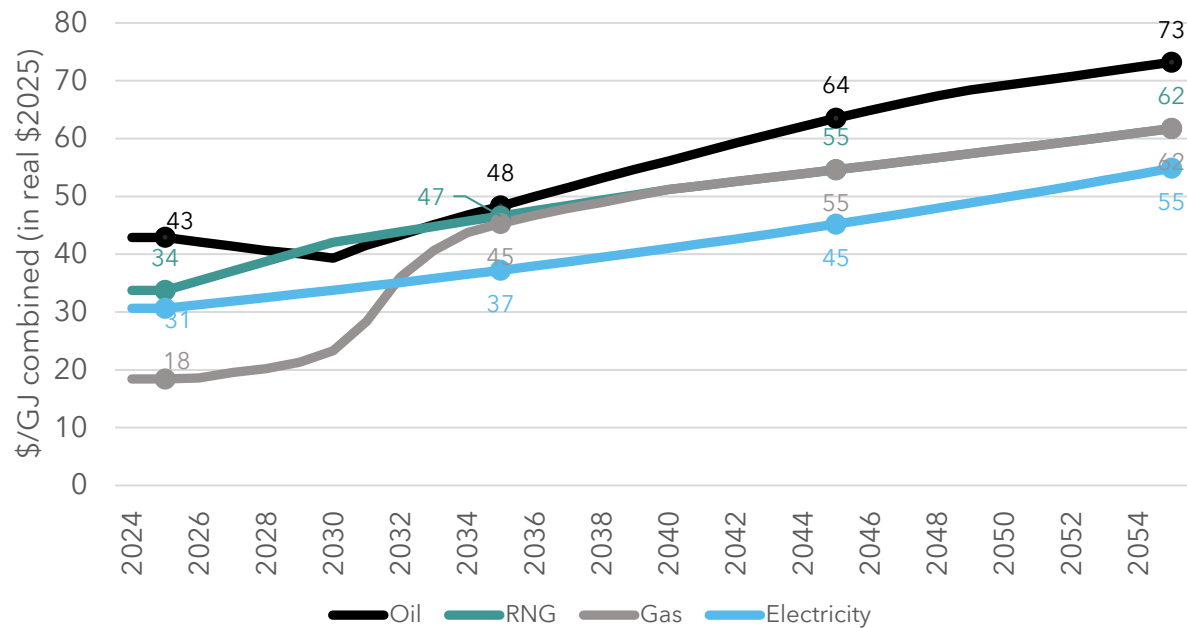
Energy	Base price (2025)	Future projection
Electricity	Hydro-Québec rates	Hydro-Québec 2024 rate case Inflation of 3% (residential) and 3.6% (commercial)
Heating oil	Natural Resources Canada	Government of Canada - Canada's Energy Future 2023: Energy Supply and Demand Projections to 2050
Natural gas	Énergir rates	
RNG	Énergir rates CATS ¹³ : Costs avoided, Énergir's 2022 tariff case	Dunsky: Distribution, supply, balancing and transport costs CATS: Costs avoided, Énergir's 2022 tariff case

Residential:



¹³ CATS = Cap-and-Trade System

Commercial:



It should be noted that we assume the gas network will be decarbonized by 2040, in line with the objectives of Ville de Montréal, Énergir and the Gouvernement du Québec for the buildings sector. Thus, the volume of RNG included in the gas network gradually increases to reach 100% RNG by 2040 for buildings, which impacts not only the gas network's tariff projections, but also its emissions intensity projections.

The use of renewable natural gas aims to reduce GHG emissions from the natural gas network. At present, RNG is most produced from the anaerobic digestion of residual organic matter (from technical landfill sites, municipal organic waste, sludge from wastewater treatment plants, and animal manure). Other approaches exist for producing RNG from hydrogen or forest biomass. Generally speaking, RNG production processes have major implications for its price.

In addition, as the quantity of raw material is limited, RNG will not be able to meet current natural gas requirements. For example, the American Gas Foundation estimates that biomethane could meet 5 to 12% of US gas demand, while the Natural Resource Defence Council puts the figure at 3 to 7%. Considering the defined quantities of RNG that could be produced in the future, the uses of RNG are a source of debate, namely whether this alternative energy should be reserved for uses that are more difficult to decarbonize than heating buildings (e.g., industrial processes).

Finally, not all RNG sources are equivalent in terms of GHG emissions. The carbon intensity of RNG, determined by life-cycle analysis, varies according to the raw materials used, the production and transport methods, and the end uses. Some forms of RNG can represent a net addition of GHGs to the atmosphere.

3.3.5 GHG emission projections

The carbon intensity of energy sources and their evolution are presented in the following table.

Energy source	Carbon intensity (tCO ₂ eq /GJ)			
	2025	2035	2045	2055
Electricity	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
Heating oil	0.0710	0.0710	0.0710	0.0710
Network gas (mixed gas)	0.0507	0.0053	0.0006	0.0006
RNG	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006

Emission factors for electricity, natural gas and heating oil are those published by Transition Énergétique Québec, and fugitive emissions are not included in the modelling. Emission factors are kept constant throughout the study period, with the exception of network gas. The carbon intensity of natural gas, known as “network gas”, is calculated on the basis of a mixture of fossil natural gas and RNG¹⁴, with an increasing proportion of RNG in the network, up to 100% RNG for the buildings sector in 2040.

RNG is considered in the analyses to be a decarbonized source, with a carbon intensity on the order of that of electricity, although we recognize that the source of RNG and the baseline used to determine the emission factor could strongly affect this assumption. Nevertheless, it is assumed that Énergir will be able to source carbon-neutral RNG in the required volumes.

3.4 Climate data

The HEAT™ model requires hourly outdoor air temperatures for each modelled jurisdiction – as do the archetype simulations from the Concordia team.

Instead of retrospective climate files (like the CWEC files usually used in energy simulation), we decided to use climate files that better represent future, rather than past, climate.

Canadian Weather Year for Energy Calculations (CWEC)

“564 datasets created by joining twelve selected typical weather months in a database containing up to 30 years of CWEEDS hourly data. Months are selected by statistically comparing individual monthly averages with long-term monthly averages for total daily global radiation, mean, minimum and maximum dry bulb temperature, mean, minimum and maximum dew point temperature, and mean and maximum wind speed”.¹⁵

Weather files from the Pacific Climate Impacts Consortium¹⁶ have been published to represent the climate of the 2020s, 2050s and 2080s. We chose the climate of the 2020s. Note that if a prospective climate file is used, it does not change over the lifetime of the equipment.

¹⁴ The share of RNG in network gas represents only the socialized portion, i.e., volumes other than those intended for voluntary consumption of RNG.

¹⁵ Environment Canada. [Engineering climate datasets](#).

¹⁶ Pacific Climate Impacts Consortium. (2022). [Weather files, version 2.2](#).

Appendix

Concordia team analysis and modelling report (attached)

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

Envoyé à Dunsky Energy + Climate Advisors et le PCM



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

Institut de Villes de Nouvelle Génération, Université Concordia

Révision – 17/09/2024

Sommaire executif

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Index

1.1. Tableau des matières

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

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

1.2. Index de figures

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

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

1.1. Index de tableaux

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

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

2. Objectifs du document

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

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

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

3. Antécédents

3.1. Documentation utilisée par Concordia.

Données géospatiales

Description des données

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

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

Liste des modifications apportées aux jeux de données

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

Traitement effectué

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

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

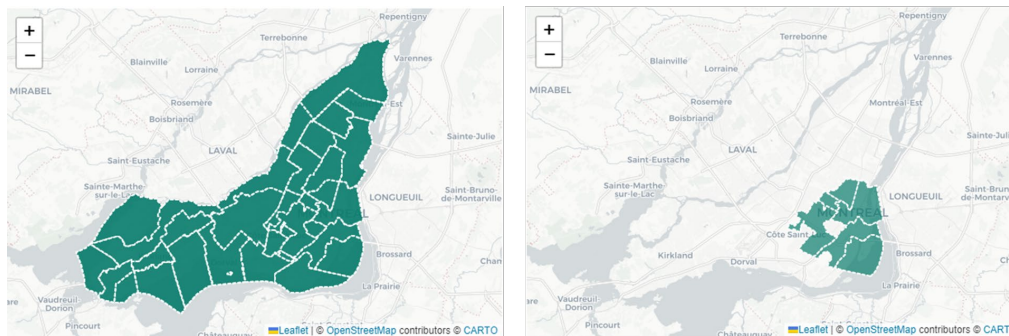


Figure 1: Couverture des données de RNCan (à gauche) et des bâtiments 3D de la Ville de Montréal (à droite)

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

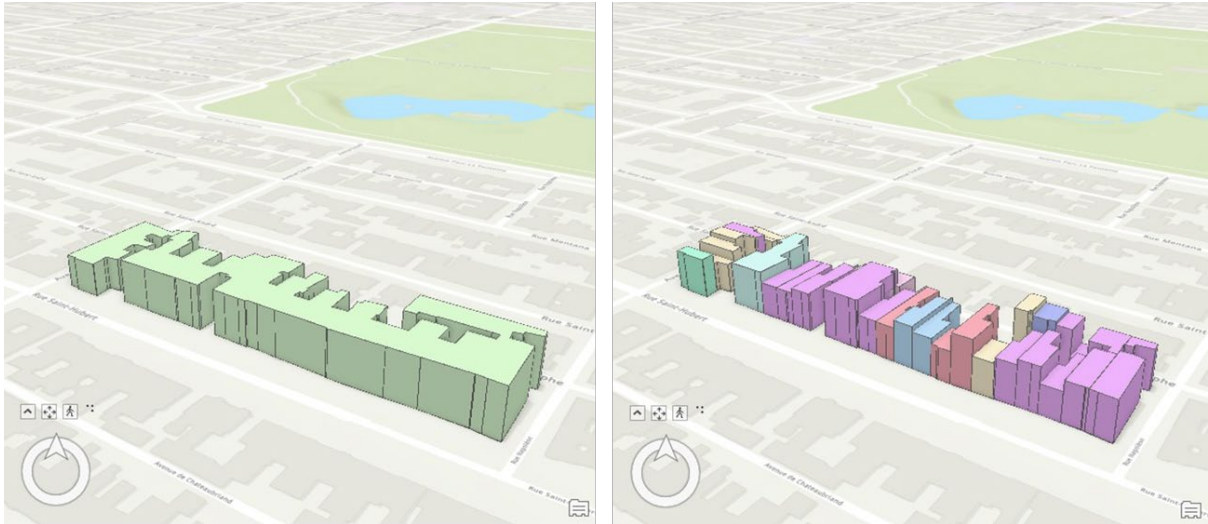


Figure 2: Correction de la hauteur des bâtiments à l'aide de données Lidar

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

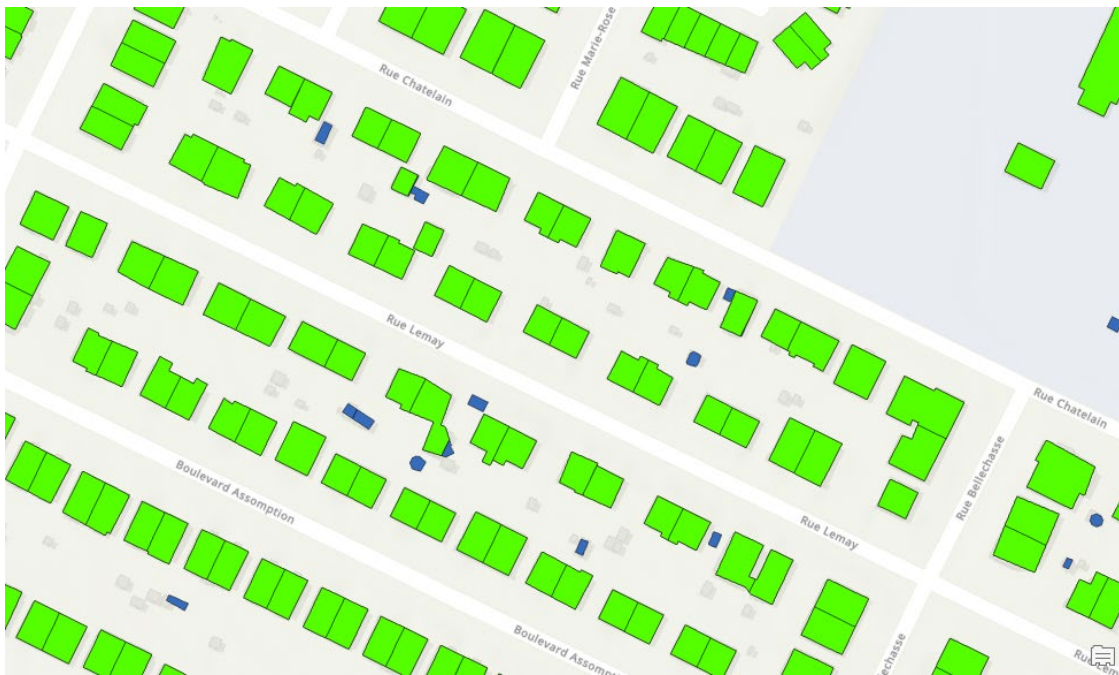


Figure 3: Filtrage par zone pour le nettoyage des données (le vert montre le bâtiment sélectionné et le bleu la zone rejetée)

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

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

Validation des données avec des données censales

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

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

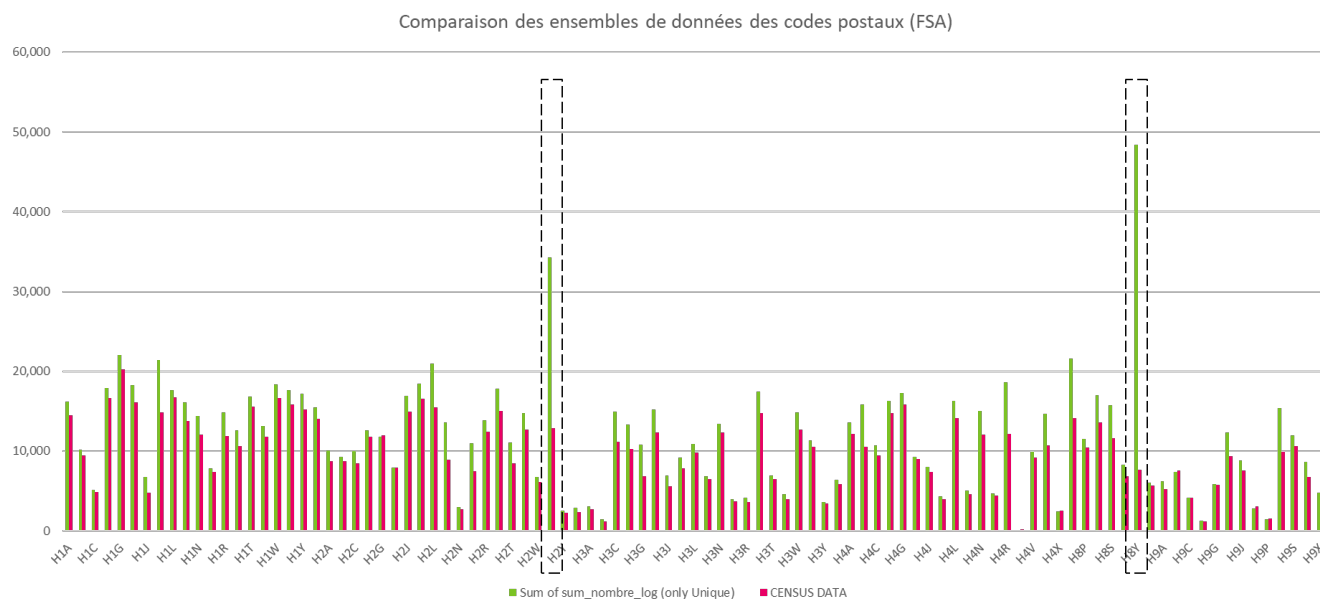


Figure 4 comparaison des données utilisées avec les données disponibles des bureaux de poste par code postal

4. Analyses statistiques pour l'île de Montréal

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

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

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

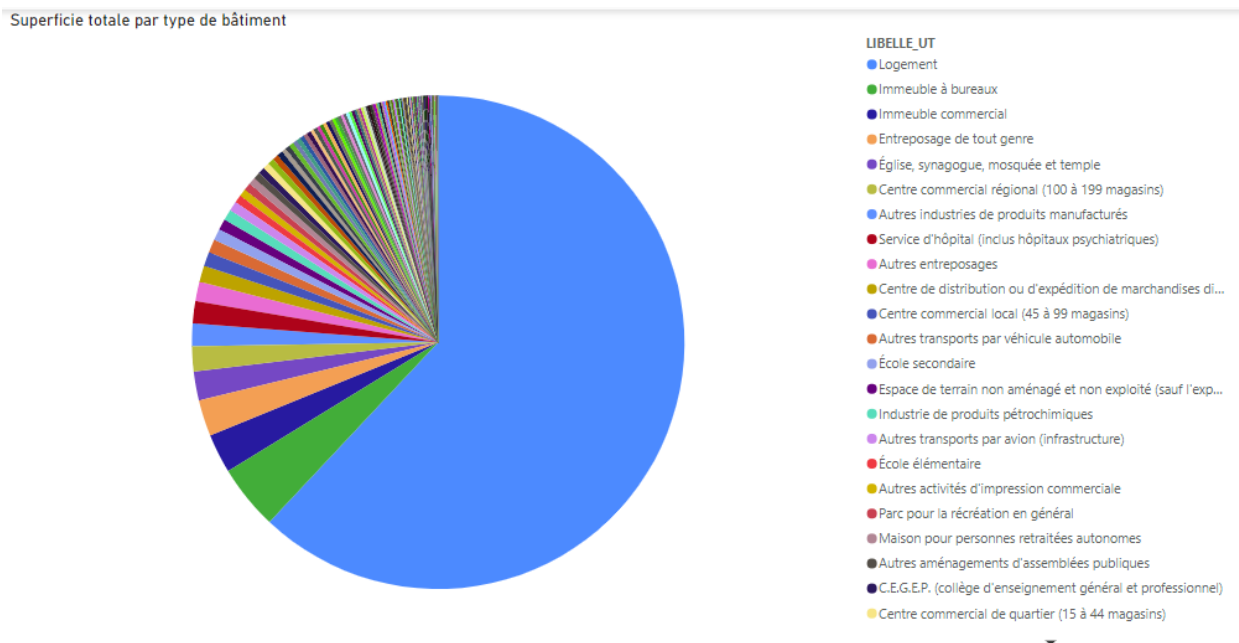


Figure 5 superficie totale par type de bâtiment dans la ville de montréal

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

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

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

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

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

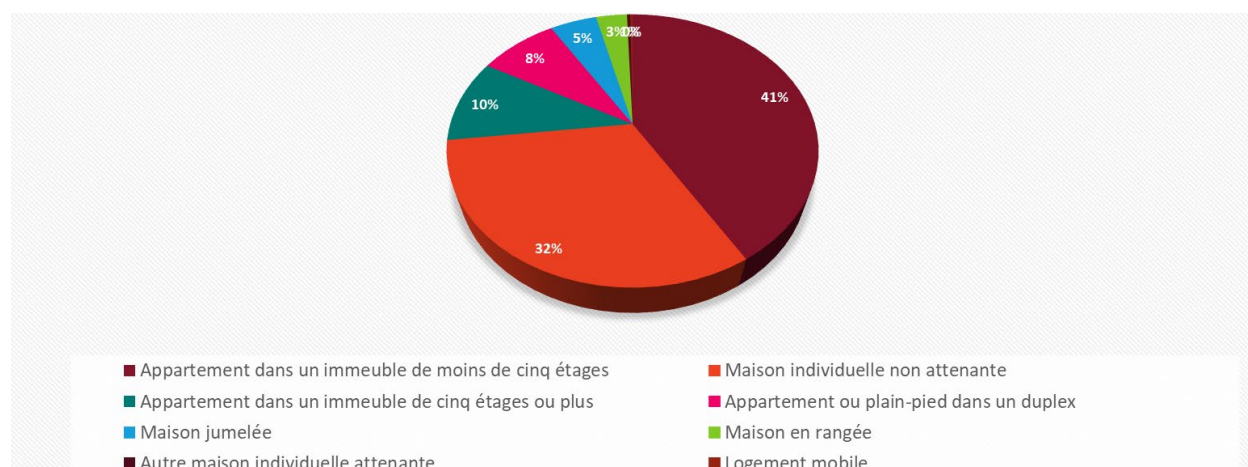


Figure 6 nombre de bâtiments par type de bâtiment dans la ville de Montréal

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

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

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

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

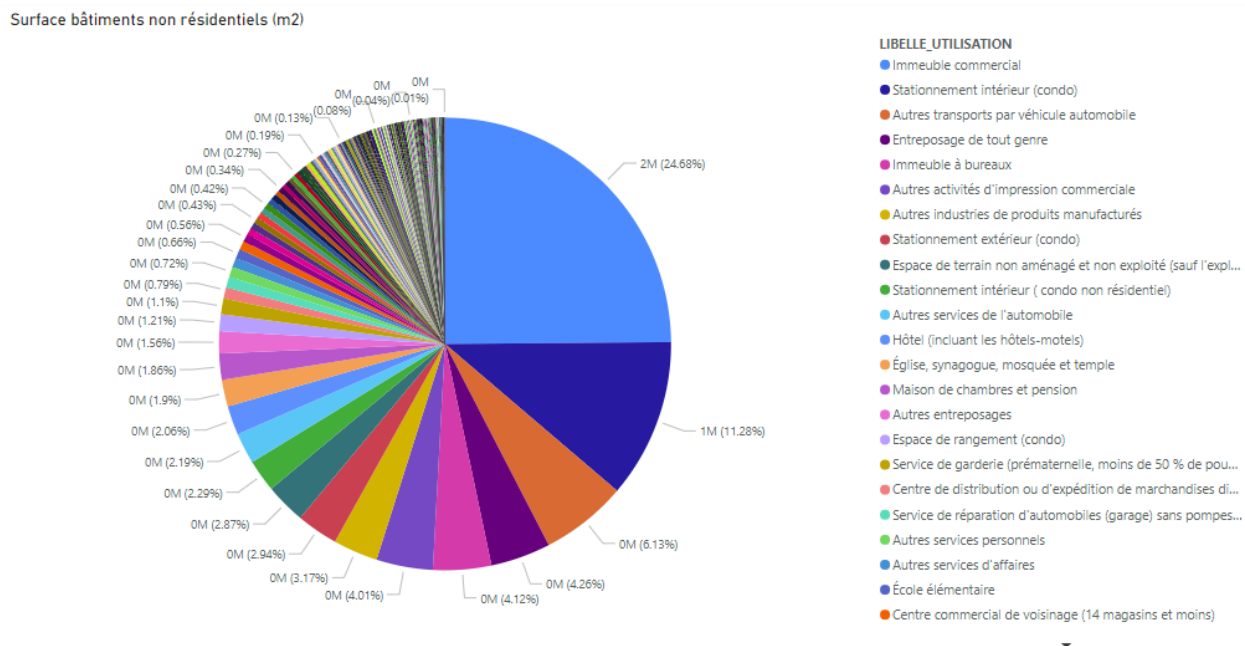


Figure 7 superficie des bâtiments non résidentiels

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

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

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

Número bâtiments non résidentiels

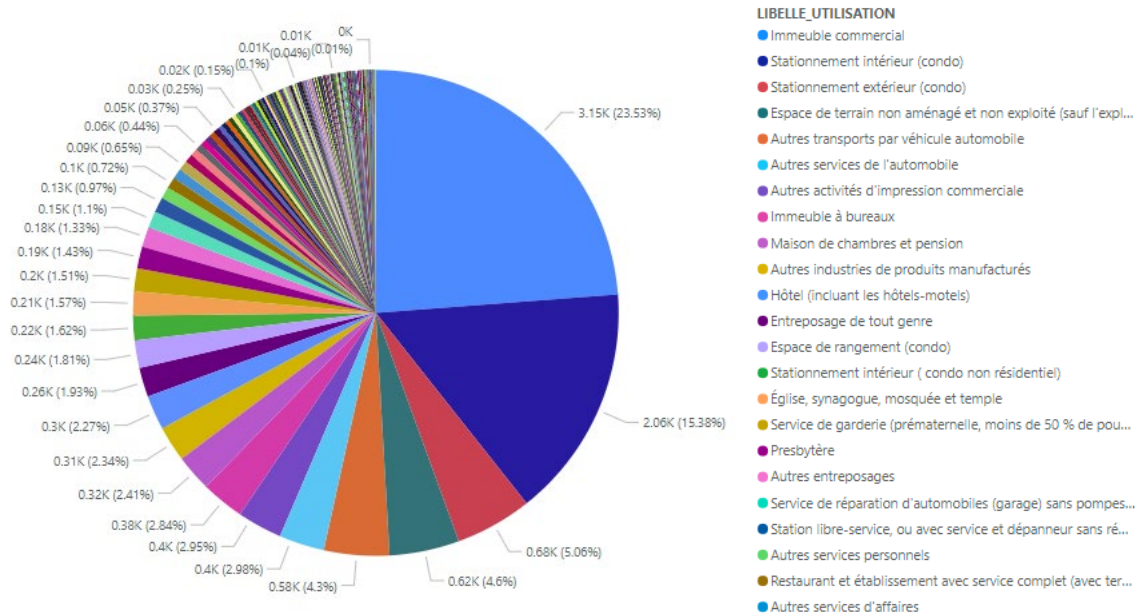


Figure 8 nombre de bâtiments non résidentiels

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

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

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

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

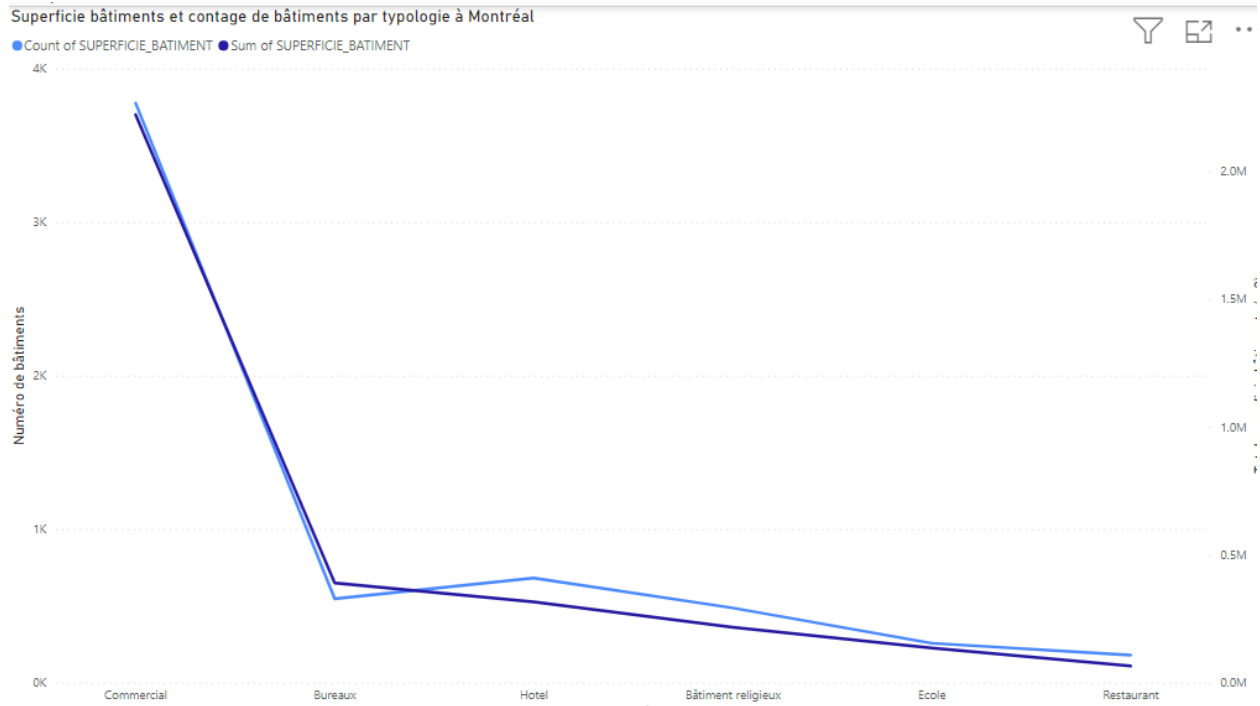


Figure 9 comparaison entre le nombre de bâtiments non résidentiels et leur surface totale (par type de bâtiment)

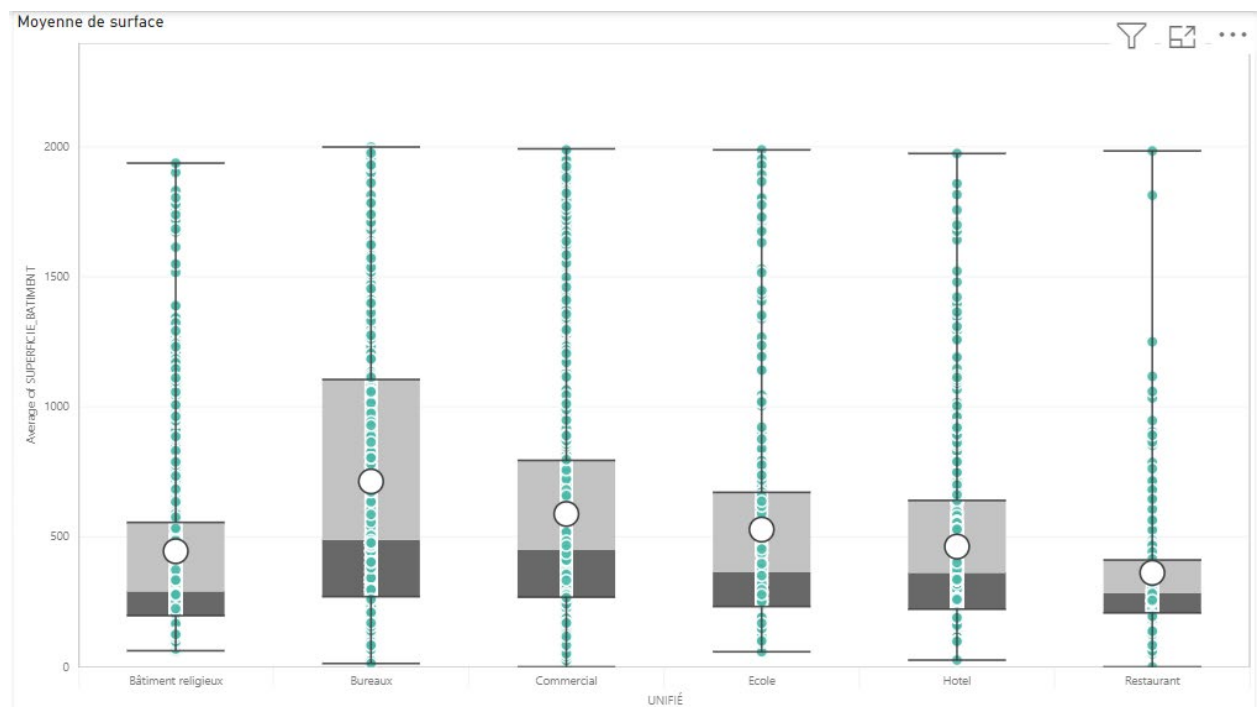


Figure 10 surface moyenne par type de bâtiment

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

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

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

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

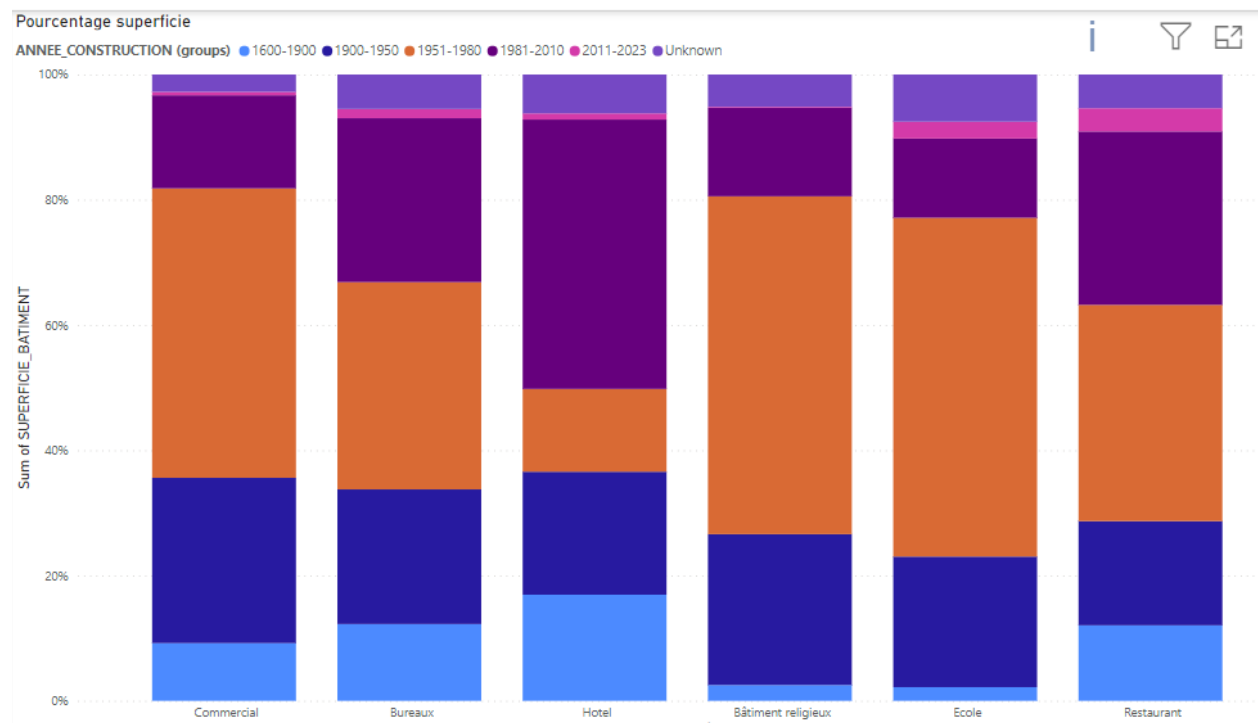


Figure 11 Distribution de la surface par millésime et par type de bâtiment

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

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

Résidentiel	Bureaux	Commercial	Millésimes de construction
• Logement unifamilial • Unifamilial En rangé • Multi-logement partie 9 du code • Multi-logement partie 3 du code	• immeubles de bureaux	• Bâtiment commercial dettachee • Bâtiment commercial attachee	• Avant 1946 • 1947 – 1983 • 1983 – 2010 • Apres 2010 (Exclu pour les immeubles non résidentiel)

Figure 12 Catégories d'archétypes formées conceptuellement

5.1. Description des données utilisées

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

ID_UEV: Identifiant unique de l'Unité Environnementale Urbaine, souvent utilisé à des fins de planification ou administratives.	year: L'année de construction ou l'année à laquelle les données se rapportent.	footprint_area: La superficie au sol couverte par le bâtiment ou la structure, généralement mesurée en mètres carrés ou en pieds carrés.
MATRICULE8: Un code d'identification spécifique, possiblement pour des propriétés ou parcelles dans une base de données municipale ou de planification.	maincategory: Une classification principale pour le type d'unité ou de propriété, tel que résidentiel, commercial ou industriel.	height: La hauteur du bâtiment ou de la structure, souvent mesurée en mètres ou en pieds.
CIVIQUE_DE: Le numéro civique de départ d'une rue pour une propriété ou un lot, indiquant la limite inférieure de la plage d'adresses.	subcategory: Une classification plus spécifique au sein de la catégorie principale, fournissant plus de détails sur le type de propriété.	Shape_Length: La longueur totale du périmètre du bâtiment
CIVIQUE_FI: Le numéro civique de fin d'une rue pour une propriété ou un lot, indiquant la limite supérieure de la plage d'adresses.		Shape_Area: La superficie totale enclose par la limite
NOM_RUE: Le nom de la rue où se situe la propriété ou l'unité.		vol: Volume du bâtiment
		AR: Ratio d'Aspect, se référant généralement au rapport entre la largeur et la hauteur
		total_area: La superficie totale du bâtiment, additionnant les surfaces de tous les étages, souvent utilisée pour évaluer la taille du bâtiment et la capacité d'occupation.
		Envelope Area: Se réfère généralement à la superficie extérieure totale d'un bâtiment, incluant les murs
		A/V: Un paramètre qui pourrait représenter un nouveau calcul ou rapport lié à la Surface au Volume (S/V)

Figure 13 Paramètres disponibles dans l'ensemble de données utilisé

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

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

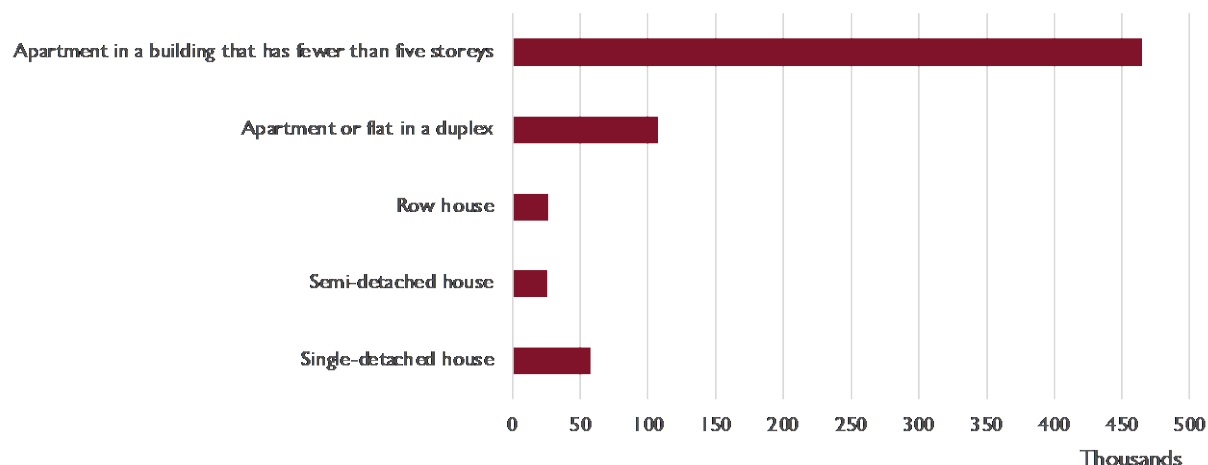


Figure 14 Statistiques sur la typologie des bâtiments dans la ville de Montréal (Profile Table, Census Profile, 2021 Census of Population - Montréal, Ville (V) [Census Subdivision], Quebec, n.d.)

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

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

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

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

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

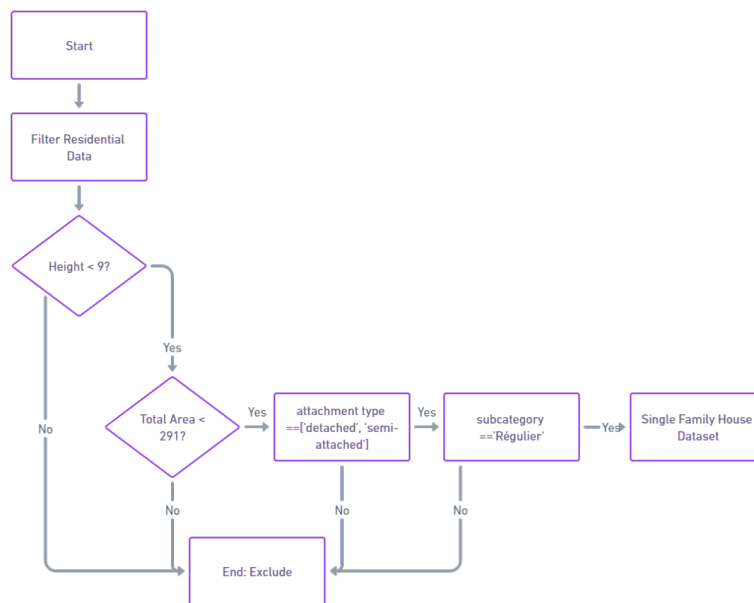


Figure 15 organigramme pour l'extraction des données relatives aux maisons individuelles

5.2. Maisons en rangée

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

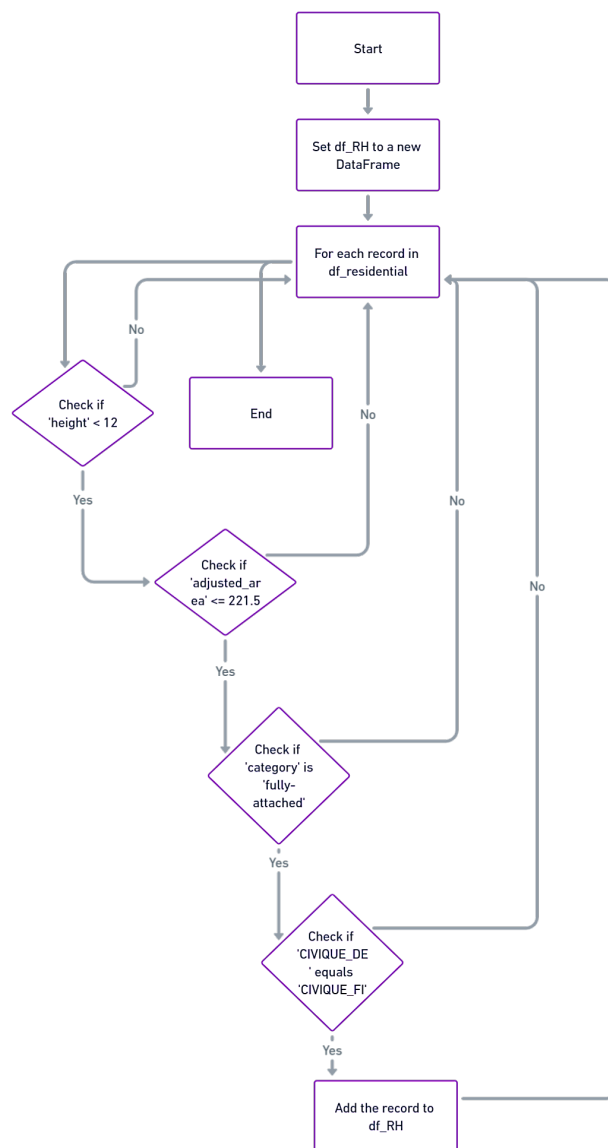


Figure 16 organigramme pour l'extraction des données relatives aux maisons en rangée

5.3. Multi logement partie 9 du code

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

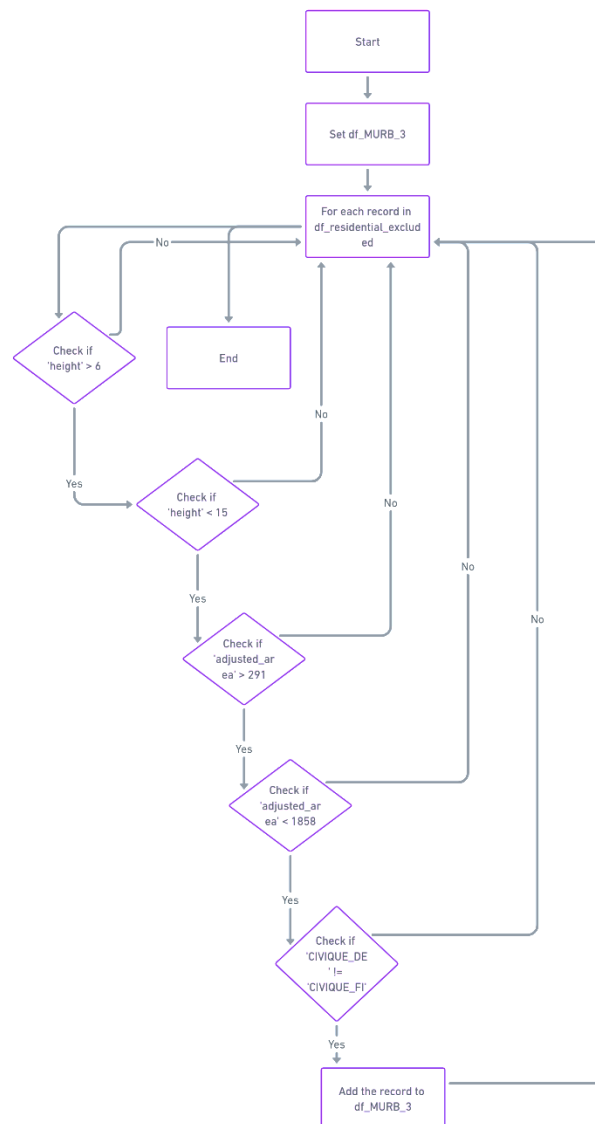


Figure 17 organigramme pour l'extraction des données relatives aux multi-logement partie 9 du code

5.4. Multi logement partie 3 du code

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

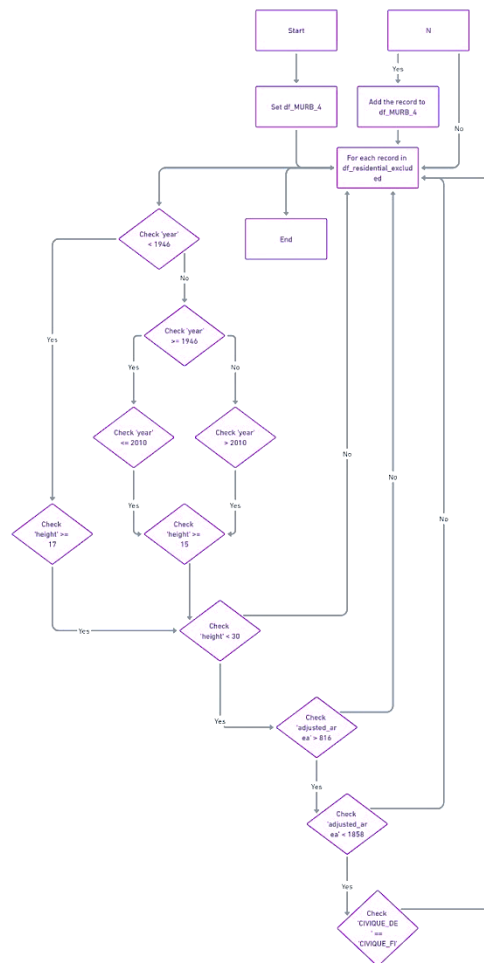


Figure 18 organigramme pour l'extraction des données relatives aux multi-logement partie 3 du code

6. Méthodologie de regroupement géométrique (clustering)

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

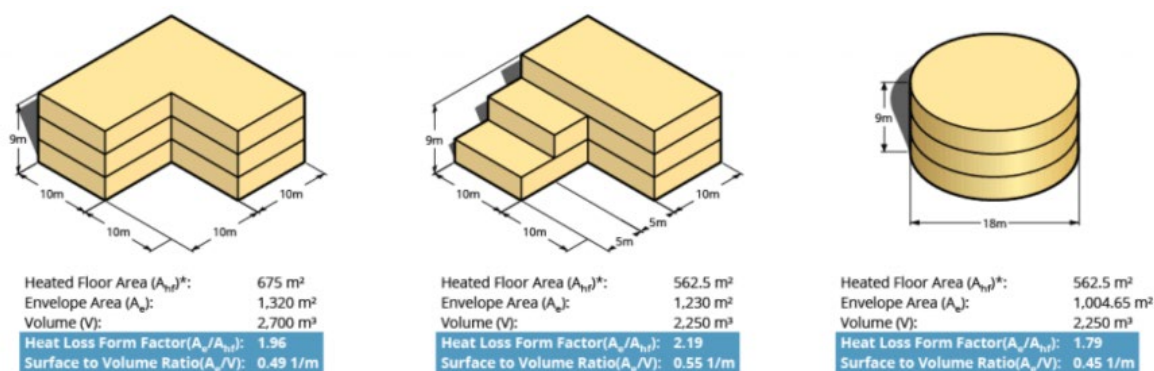


Figure 19 la nécessité d'utiliser le rapport surface/volume et le rapport d'aspect

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

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

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

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

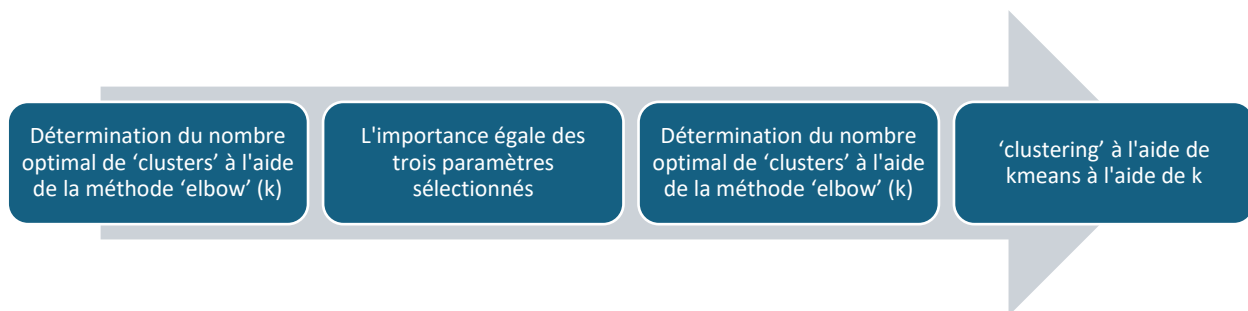


Figure 20 flux de travail générique pour le processus de regroupement

7. Résultats du processus de regroupement

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

7.1. Commerciaux attachés

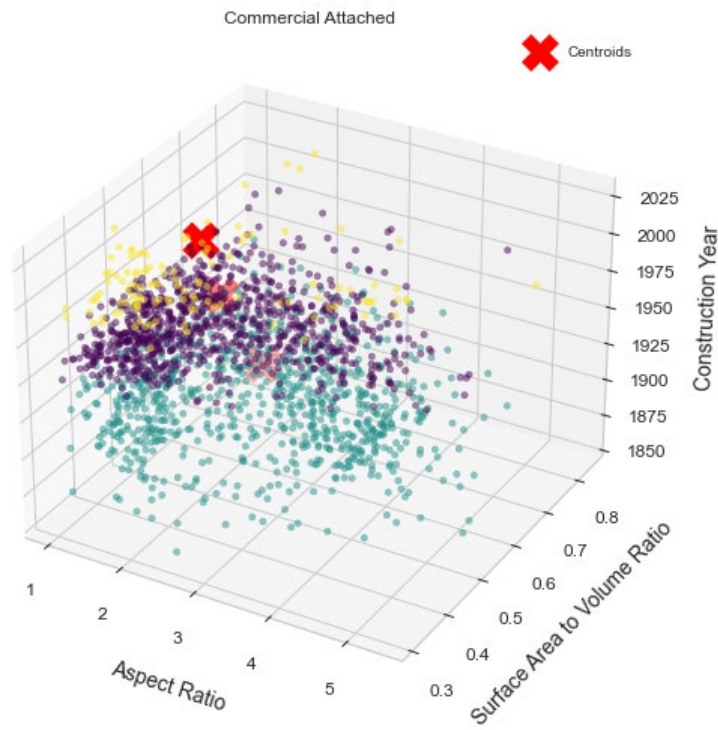


Figure 21 : Image clustering et obtention centroïdes commerciaux



pre-1946
201 Rue Rachel E



1947-1983
8757 Rue Hochelaga



after 1983
416 Rue Jean-Talon O

Figure 22 : Images des centroïdes trouvés commerciale

7.2. Commerciaux détachés

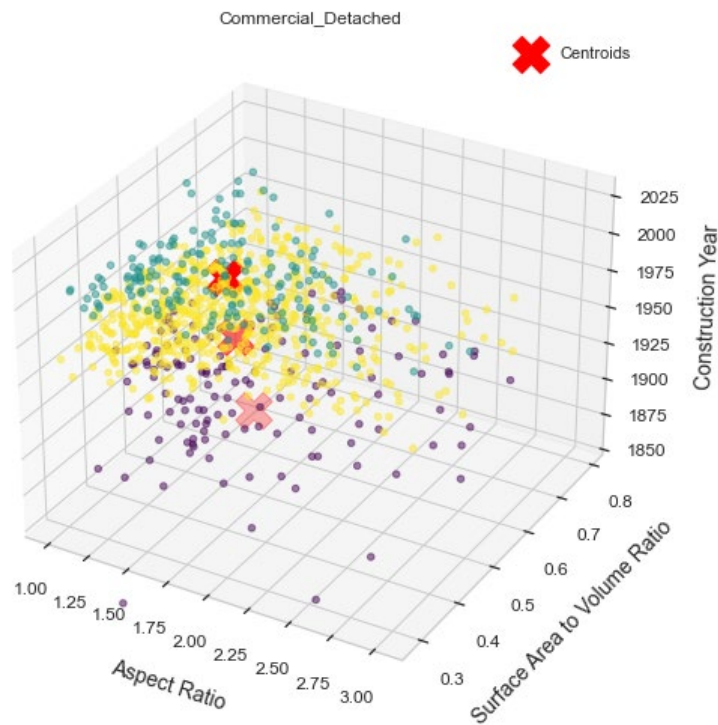


Figure 23 : Image clustering et obtention centroïdes commerciaux détachés



pre-1946
170 Rue Jarry E



1947-1983
6023 Boulevard Henri-Bourassa E



after 1983
6971 De la Côte-de-Liesse Rd

Figure 24 : Images des centroïdes trouvés commerciale détachée

7.3. Bureaux

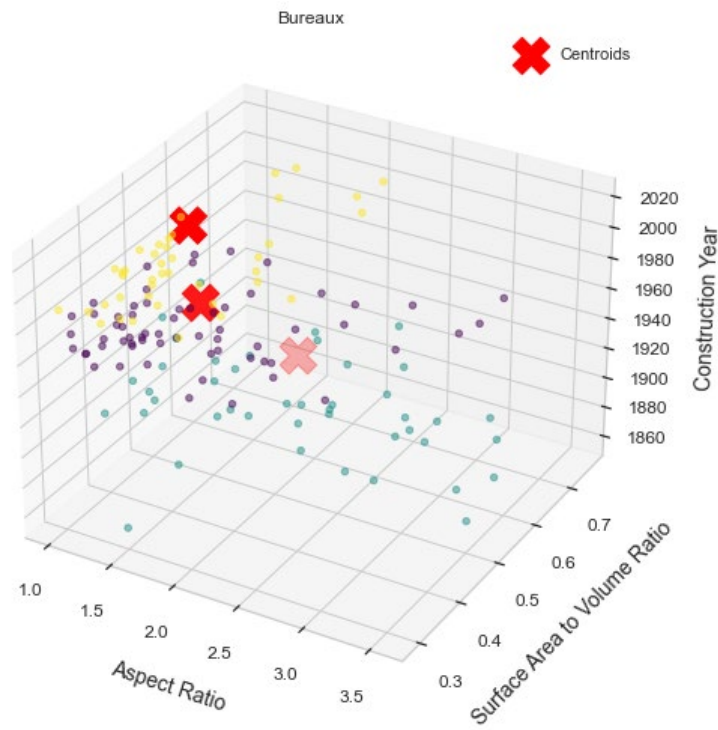


Figure 25 : Image clustering et obtention centroides bureaux



Figure 26 : Images des centroides trouvés bureaux

7.4. Maison unifamiliale

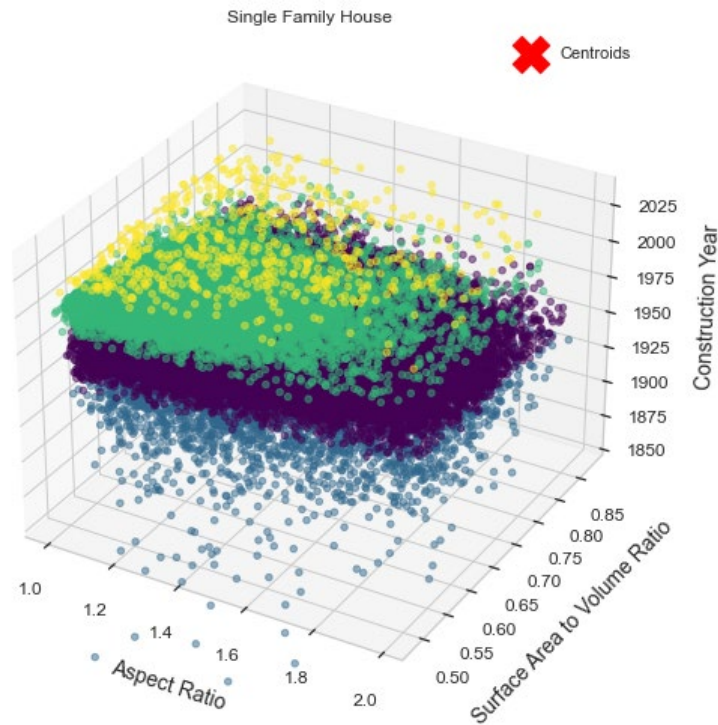


Figure 27 : Image clustering et obtention centroïdes maison unifamiliale

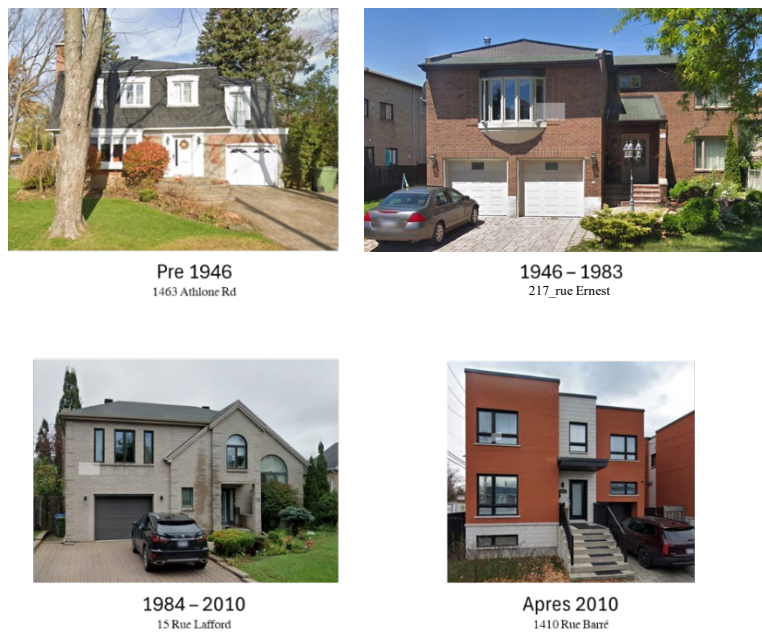


Figure 28 : Images des centroïdes trouvés unifamilial

7.5. Maison en rangée

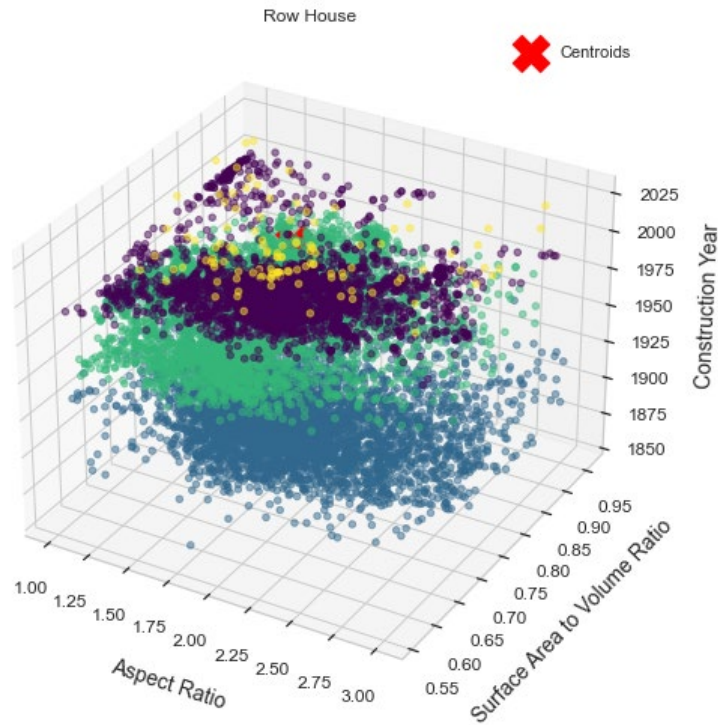


Figure 29 : Image clustering et obtention centroïdes maison unifamiliale en rangée



Pre 1946
3440 Marcell Ave



1946 – 1983
253 Rue Wilson



1984 – 2010
74 Rue Terry Fox



Après 2010
197 Beaurepaire Dr

Figure 30 : Images des centroïdes trouvés unifamilial en rangée

7.6. Multi-logement Partie 9 du code

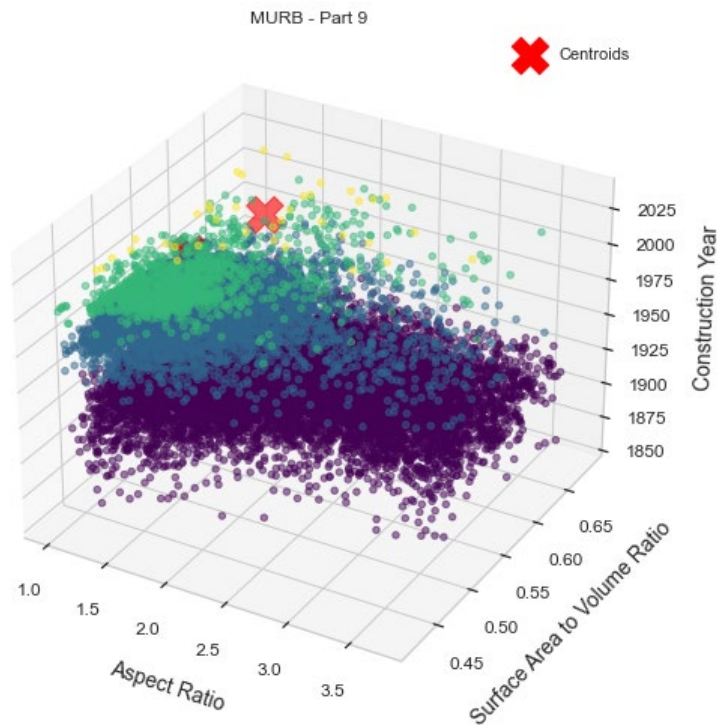


Figure 31 : Image clustering et obtention centroïdes Multi logement partie 9



Figure 32 : Images des centroïdes trouvés multi logement partie 9

7.7. Multi-logement Partie 3 du Code

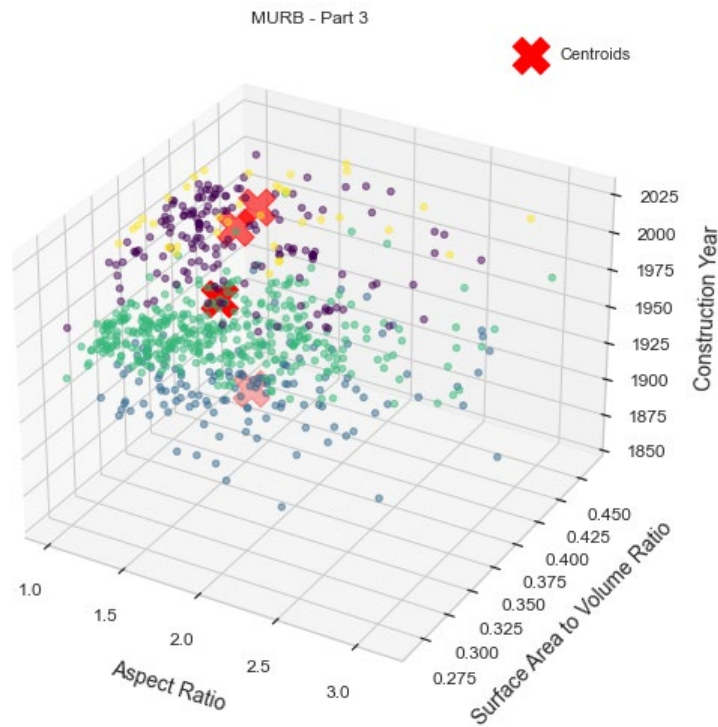


Figure 33 : Image clustering et obtention centroïdes Multi logement partie 3



Figure 34 : Images des centroïdes trouvés multi logement partie

Tableau 2 Informations détaillées sur les centroïdes de chaque archétype

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

8. Données constructives

8.1. Données de base

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

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

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

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

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

8.2. Prétraitement et extraction des données

EnerGuide dataset

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

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

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

Autres sources supplémentaires

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

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

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

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

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

HUB

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

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

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

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

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

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

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

HTAP

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

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

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

8.3. Maison Unifamiliale

Tableau 3 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

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

¹ EnergyGuide

² HTAP

³ Quebec Construction Code

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

Couches de construction suggérées

Tableau 4 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

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

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

² Post- War home - Government of Canada Publications

³ APCHQ

⁴ IECC

Analyse des données ÉnerGuide

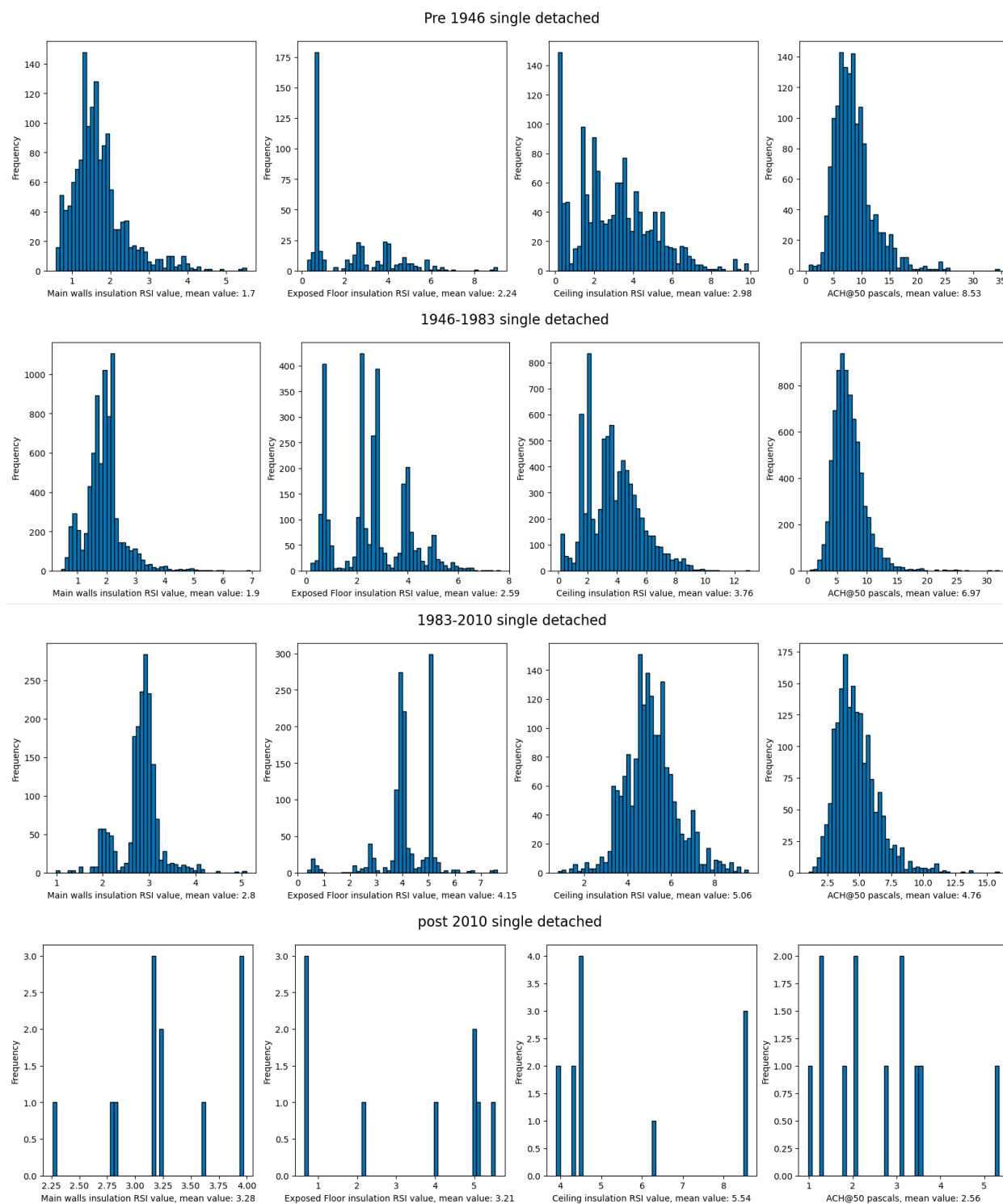


Figure 35 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuide

8.4. Maison en rangée

Tableau 5 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

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

¹ EnergyGuide

² HTAP

³ Quebec Construction Code

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

Couches de construction suggérées

Tableau 6 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

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

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

² Post- War home - Government of Canada Publications

³ APCHQ

⁴ IECC

Analyse des données ÉnerGuide

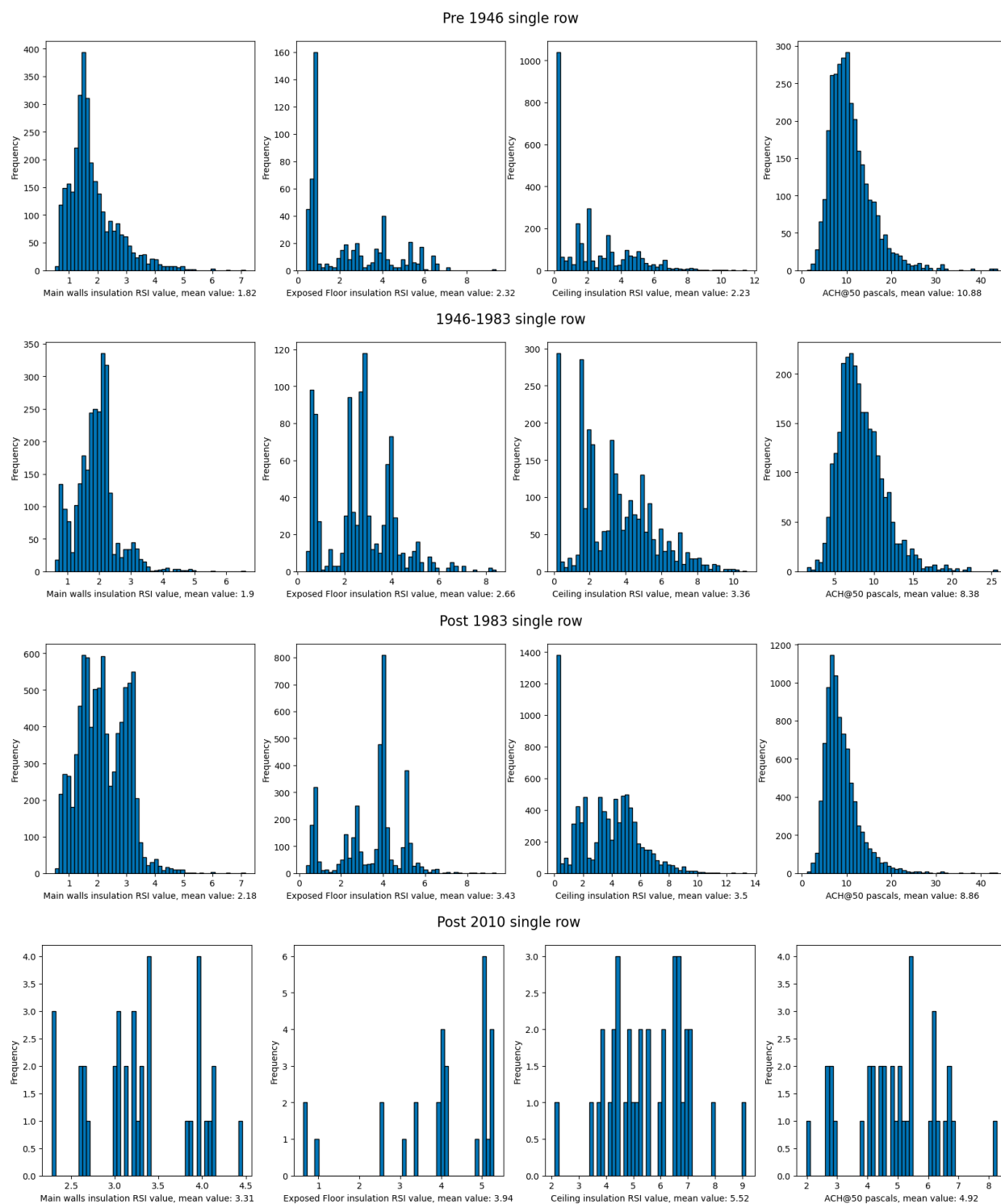


Figure 36 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuide

8.5. Multi-logement partie 9 du code

Tableau 7 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

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

¹ EnergyGuide

² HUB

* Estimated value

Couches de construction suggérées

Tableau 8 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

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

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

² Post- War home - Government of Canada Publications

³ APCHQ

⁴ IECC

Analyse des données ÉnerGuide

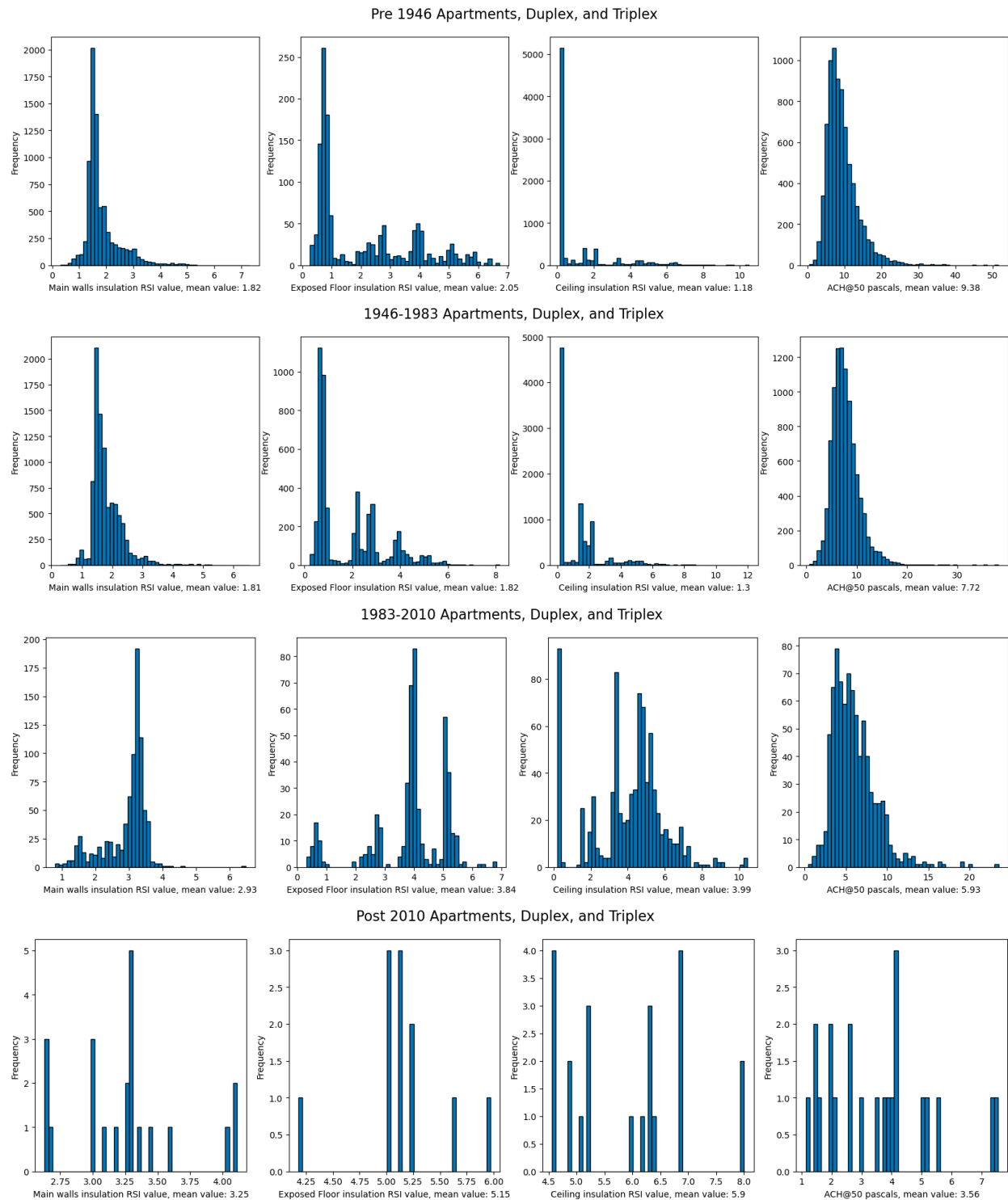


Figure 37 Analyse des échantillons de données disponibles dans Energuide

8.6. Multi-logement partie 3 du code

Tableau 9 Construction partie 3 du code valeurs

	MURS (RSI) (M ² ·K/W)	PLAFON DS (RSI) (M ² ·K/W)	PLANCHE RS (RSI) (M ² ·K/W)	FENÊTRES (U-VALUE) (W/M ² K)	SHGC	ACH@50 PA	WWR (%)*
PRE 1946	1.498 ¹	0.823 ¹	0.678 ¹	4.20 ¹	0.39 *	502 * 10 ⁻⁴ *	20 *
1946 – 1983	1.498 ¹	0.823 ¹	0.678 ¹	4.20 ¹	0.39 *	275 * 10 ⁻⁴ *	20 ¹
1984 – 2010	0.426 ¹	0.276 ¹	0.459 ¹	4.20 ¹	0.39 *	125 * 10 ⁻⁴ *	30 ¹
POST 2010	0.247 ¹	0.183 ¹	0.183 ¹	2.20 ¹	0.39 *	61 * 10 ⁻⁵ *	30 *

¹ CAGBC

* Estimated value

Couches de construction suggérées

Tableau 10 Construction partie 3 du code matériaux

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

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

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

³ APCHQ

⁴ IECC

8.7. Bureaux

Tableau 11 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

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

¹ EnergyGuide

² HUB

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

* Estimated value

Couches de construction suggérées

Tableau 12 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

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

¹ CBECS

² CAGBC

8.8.Commerciaux détachés

Tableau 13 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

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

¹ EnergyGuide

² HUB

* Estimated value

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

Couches de construction suggérées

Tableau 14 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

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

8.9.Commerciaux attachés

Tableau 15 Données de construction proposées pour la catégorie de bâtiment

	MURS (U- VALUE) (W/M²K)	PLAFOND S(U- VALUE) (W/M²K)	PLANCHER S (U-VALUE) (W/M²K)	FENÊTRE S (U- VALUE) (W/M²K)	SHGC	ACH@50 PA	WWR (%)*
PRE 1946	0.82 ²	0.26 ²	0.67 ²	2.95 ²	0.39 ²	606 * 10 ⁻⁴ ¹	40%*
1946 – 1983	0.62 ²	0.26 ²	0.67 ²	2.95 ²	0.39 ²	125 * 10 ⁻⁴ ¹	40%*
1984 – 2020	0.33 ²	0.21 ²	0.43 ²	2.34 ²	0.39 ²	116 * 10 ⁻⁴ ¹	40%*

¹ EnergyGuide

² HUB

* Estimated values

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

Couches de construction suggérées

Tableau 16 Couches de construction proposées pour les assemblages de bâtiments

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

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

¹ HUB

² CBECS

* Estimated values

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

9. Simulation énergétique

9.1. Description

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

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

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

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

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

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

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

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

9.2. Validation des résultats

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

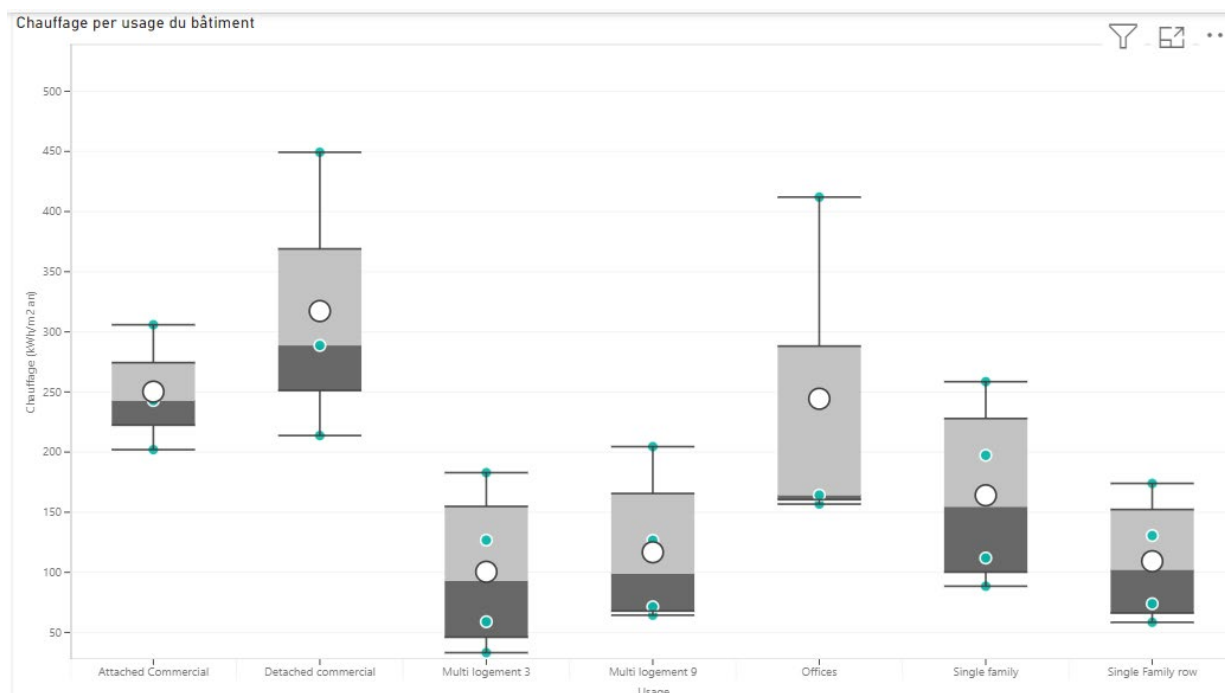


Figure 38 : Chauffage par mc par typologie de bâtiment

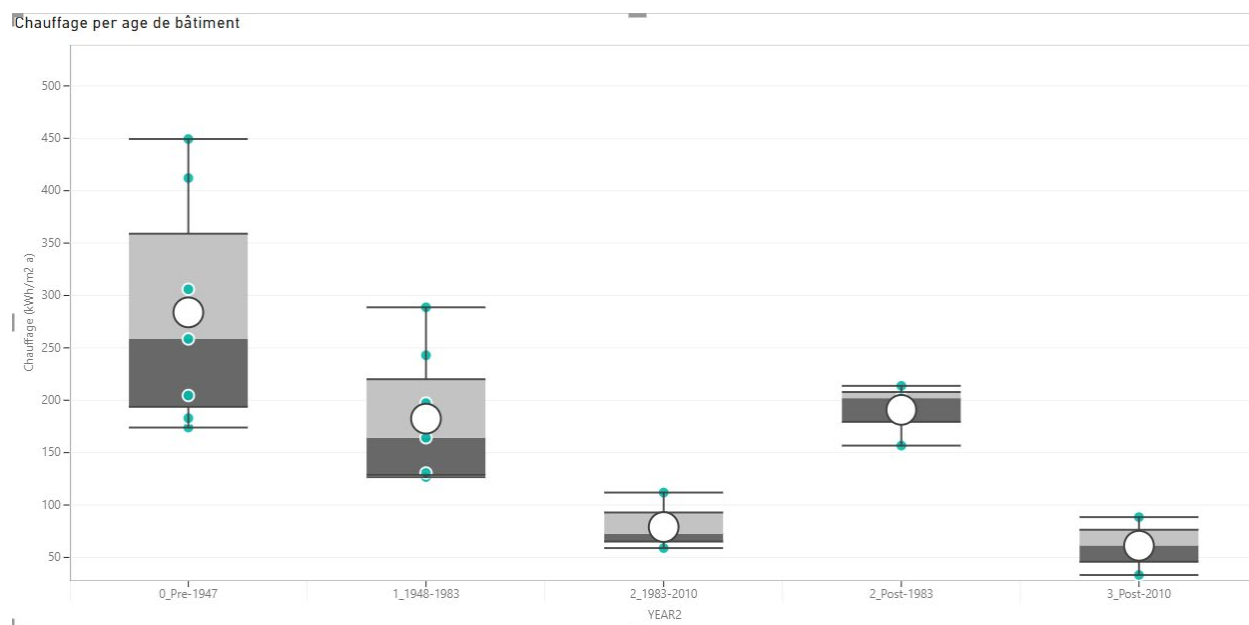


Figure 39 : Chauffage par mc par age du bâtiment

10. Conclusion

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

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

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

Les étapes suivantes comprennent les tâches suivantes :

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

11. Références

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

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

12. Annexe 1 : Tableau-sommaire des archetypes

Les fiches suivantes montrent les caractéristiques de tous les archetypes.

	Maison Unifamiliale avant 1947	Maison Unifamiliale 1947-1983	Maison unifamiliale 1984-2010	Maison unifamiliale après 2011
Photo	 Pre 1946 1465 Adeline Rd.	 1946 – 1983 172 Deppa Ave.	 1984 – 2010 15 Rue Lafford	 Après 2010 1410 Rue Barré
Superficie de plancher (m2)	187.26	215.07	401.88	220.49
Données constructifs				
Murs (RSI) (m2-K/W)	1.70 1	1.90 1	2.80 1	4.31 3
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	2.24 1	2.59 1	4.15 1	7.22 3
Planchers (RSI) (m2-K/W)	2.98 1	3.76 1	5.06 1	5.20 3
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	3.85 2	3.33 2	2.73 2	2.003
SHGC	0.65 2	0.65 2	0.59 2	0.35 2
m3/s per m2	579 * 10-4 1	455 * 10-4 1	314 * 10-4 1	2 * 10-4 1
WWR (%)*	20 1	20 1	20 1	20 1
Couches de construction suggérées				
Murs	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. 1	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation 3
Toitures	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4
Planchers	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4

Figure 40 : Sommaire des archetypes pour maison unifamiliale

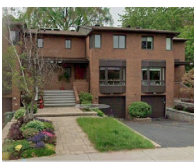
	Maison en rangé avant 1947	Maison en rangé 1947-1983	Maison en rangé 1983-2010	Maison en rangé après 2010
Photo	 Pre 1946 3440 Marcell Ave	 1946 – 1983 251 Rue Wilson	 1984 – 2010 74 Rue Terry Fox	 Après 2010 107 Beaupréville Dr
Superficie de plancher (m2)	235.64	152.89	140.24	140.55
Données constructifs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

Figure 41 : Sommaire des archétypes pour maison en rangé

	Apartements partie 9 du code avant 1947	Apartements partie 9 du code 1947-1083	Apartements partie 9 du code 1984-2010	Apartements partie 9 du code après 2010
Photo	 Pre 1946 7201 Saint-Denis St	 1946 – 1983 12185 Av. Lacombe	 1984 – 2010 4909 Rue des Cagieux	 Après 2010 5875 Av. des Ormeaux
Superficie de plancher (m2)	496.29	397.02	341.44	211.88
Données constructifs				
Murs (RSI) (m2-K/W)	1.82 1	1.81 1	2.93 1	4.31 3
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	1.18 1	1.30 1	3.99 1	7.22 3
Planchers (RSI) (m2-K/W)	2.05 1	1.82 1	3.84 1	5.20 3
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	3.85 2	3.33 2	2.63 2	2.003
SHGC	0.65 2	0.65 2	0.59 2	0.35 2
m3/s per m2	502 * 10-4 *	275 * 10-4 *	125 * 10-4 *	61 * 10-5 *
WWR (%)	30%*	30%*	30%*	30%*
Couches de construction suggérées				
Murs	Wood frame stud walls also, solid stone masonry and solid brick masonry. No Insulation. 1	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with batt insulation 2	Wood frame stud walls with fiber glass batt insulation 3
Toitures	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4	Gypsum board, typical insulation 4
Planchers	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4	Typical insulation, normal weight concrete, typical carpet pad 4

Figure 42 : Sommaire des archétypes pour appartements partie 9

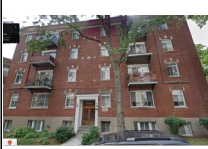
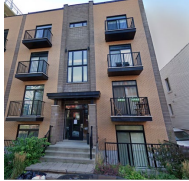
	Apartements partie 3 du code avant 1947	Apartements partie 3 du code 1947-1983	Apartements partie 3 du code 1984-2010	Apartements partie 3 du code après 2010
Photo	 Pre 1946 48 Av. Joyce	 1946 – 1983 1790 Boulevard Saint-Benoît Boulevard E	 1984 – 2010 16211 Rue Percyth	 Après 2010 2000 Rue Falckem
Superficie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

Figure 43 : Sommaire des archetypes pour appartements partie 3

	Commercial attaché avant 1947	Commercial attaché 1984-2010	Commercial attaché après 1983
Photo	 pre-1946 201 Rue Rachel E	 1947-1983 8757 Rue Hochelaga	 after 1983 418 Rue Jean-Talbot O
Superficie de plancher (m2)	663.02	297.39	408.15
Données constructifs			
Murs (RSI) (m2-K/W)	0.82 2	0.62 2	0.33 2
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	0.26 2	0.26 2	0.21 2
Planchers (RSI) (m2-K/W)	0.67 2	0.67 2	0.43 2
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	2.95 2	2.95 2	2.34 2
SHGC	0.39 2	0.39 2	0.39 2
m3/s per m2	606 * 10-4 1	125 * 10-4 1	116 * 10-4 1
WWR (%)	40%*	40%*	40%*
Couches de construction suggérées			
Murs	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco 1	Steel stud wall w/batt insulation 1	Steel stud wall w/batt insulation. 1
Toitures	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2
Planchers	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2

Figure 44 : Sommaire des archetypes pour commercial attaché

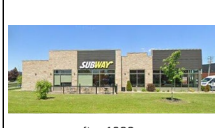
	Commercial détaché avant 1947	Commercial détaché 1984-2010	Commercial détaché après 1983
Photo	 pre-1946 170 Rue Jerry E	 1947-1983 6023 Boulevard Henri-Boussin E	 after 1983 6073 Rue A. Gauthier E
Superficie de plancher (m2)	1481.16	287.97	1032.48
Données constructifs			
Murs (RSI) (m2-K/W)	0.82 2	0.62 2	0.33 2
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	0.26 2	0.26 2	0.21 2
Planchers (RSI) (m2-K/W)	0.67 2	0.67 2	0.43 2
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	2.95 2	2.95 2	2.34 2
SHGC	0.39 2	0.39 2	0.39 2
m3/s per m2	220 * 10-3 *	221 * 10-4 *	254 * 10-4 *
WWR (%)*	40% *	40% *	40% *
Couches de construction suggérées			
Murs	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2
Toitures	Steel stud wall w/batt insulation 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2
Planchers	Steel stud wall w/batt insulation. 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 2	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 2

Figure 45 : Sommaire des archetypes pour commercial détaché

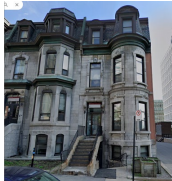
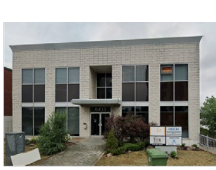
	Bureaux avant 1947	Bureaux 1984-2010	Bureaux après 1983
Photo	 pre-1946 2115 Mackay St	 1947-1983 210 Boulevard Henri-Boussin E	 after 1983 6433 Rue Jerry E
Superficie de plancher (m2)	404.23	1250.71	733.57
Données constructifs			
Murs (RSI) (m2-K/W)	0.82 2	2.11 3	2.11 3
Plafonds (RSI) (m2-K/W)	0.26 2	0.26 2	0.26 2
Planchers (RSI) (m2-K/W)	1.31 2	1.31 2	2.13 2
Fenêtres (u-value) (W/m²K)	2.95 2	5.68 3	3.52 3
SHGC	0.39 2	0.39 2	0.39 2
m3/s per m2	680 * 10-4 1	288 * 10-4 1	168 * 10-4 1
WWR (%)*	40% *	40% *	40% *
Couches de construction suggérées			
Murs	Gypsum, typical insulation, concrete, stucco 1	Steel stud wall w/batt insulation 2	Steel stud wall w/batt insulation, 2
Toitures	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 1	Roof membrane, typical insulation, and metal roof surface 1
Planchers	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 1	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 1	Typical insulation, Normal weight concrete, typical carpet pad 1

Figure 46 : Sommaire des archetypes pour bureaux

