

Priorisation énergétique et climatique des bâtiments municipaux de Montréal

Modèle intégré Énergie × Climat – Défi CodeML / IRIU × VILLE_IA

1. Objectif et approche

Ce projet vise à identifier les bâtiments municipaux de l'île de Montréal présentant à la fois une forte empreinte carbone et une vulnérabilité accrue aux pluies diluviennes et aux îlots de chaleur, afin de prioriser les interventions de rénovation énergétique et d'adaptation climatique. L'approche repose sur la fusion de données énergétiques, climatiques et sociales pour produire un indice intégré de priorité : Énergie × Climat × Équité.

2. Liste des paramètres utilisés

Le modèle combine des variables énergétiques, climatiques et sociales issues de sources ouvertes (CKAN IRIU, MELCCFP, ISQ, Ouranos). Les émissions de GES représentent la moyenne annuelle (2019–2023) en tonnes de CO₂ équivalent, tandis que la superficie (m²) et l'année de construction proviennent du registre municipal. Ces données servent à calculer l'efficacité énergétique (GES/m²) de chaque bâtiment.

Les consommations d'électricité, de gaz naturel et de mazout (GJ) proviennent des inventaires municipaux, moyennées sur quatre ans. La source d'énergie dominante correspond à celle ayant la plus forte contribution énergétique.

Les indicateurs climatiques proviennent d'Ouranos, de l'INSPQ et de la BDZI. L'indice de chaleur (0–1) traduit l'intensité des îlots de chaleur, l'indice de pluie (0–1) la vulnérabilité aux précipitations extrêmes, et l'indice de végétation (0–1) le degré de verdissement. Ces trois composantes sont agrégées dans un indice global de vulnérabilité climatique : $(1 - \text{Indice_veg}) \times (\text{Indice_chaleur} + \text{Indice_pluie}) / 2$.

L'indice social (0–1) provient du décile de défavorisation du MSSS/ISQ (2021), normalisé pour refléter la vulnérabilité socio-économique locale. Enfin, le score de priorité combine ces trois dimensions selon une pondération équilibrée : $0.5 \times \text{GES_norm} + 0.3 \times \text{Indice_climat} + 0.2 \times \text{Défavorisation_norm}$. Ce score final permet d'identifier les bâtiments à forte vulnérabilité énergétique et climatique, tout en intégrant la dimension équitable du territoire.

3. Jeux de données utilisés

- Énergie municipale (2019–2023) – *CKAN Montréal & IRIU / MELCCFP* : Contient les émissions de GES (tCO₂e), la superficie (m²), l'année de construction, ainsi que la consommation d'électricité, de gaz naturel et de mazout (GJ). Ces données ont permis de calculer les moyennes sur 4 ans et l'efficacité énergétique (GES/m²).
- Bâtiments municipaux géoréférencés – *Ville de Montréal – Inventaire municipal* : Fournit les identifiants, adresses, usages, superficies et coordonnées géographiques des 218 bâtiments municipaux (> 2000 m²). Sert de base de référence pour la jointure spatiale avec les autres couches de données.

- Vulnérabilité climatique – *Ouranos, BDZI, INSPQ, Sushi Montréal* : Regroupe les indices de chaleur (îlots de chaleur urbains), d'exposition aux pluies diluviennes et de verdissement. Ces variables, normalisées entre 0 et 1, ont été combinées pour créer un indice global de vulnérabilité climatique.
- Défavorisation socio-économique (2021) – *ISQ / MSSS – GDeF Montréal (ad2021inddef_clean_Montreal.geojson)* : Comprend les indices de défavorisation sociale et matérielle par aire de diffusion (déciles 1–10). Chaque bâtiment a été associé à son polygone de défavorisation par jointure spatiale (`gpd.sjoin`), puis les scores ont été normalisés entre 0 et 1.

4. Critères d'évaluation et interprétation

La méthodologie repose sur un modèle de pondération multicritère combinant des variables énergétiques, climatiques et sociales normalisées entre 0 et 1. Chaque indicateur a été transformé en valeur comparable grâce à une normalisation min-max afin de garantir l'équité entre unités de mesure (tCO₂e, m², indices 0–1, déciles). Les émissions de GES et le ratio GES/m² traduisent la performance énergétique des bâtiments. Ces variables ont été standardisées puis pondérées pour représenter 50 % du score final, illustrant leur poids dans la réduction de l'empreinte carbone municipale. L'indice climatique, issu de la combinaison de la chaleur, de la pluie et de la végétation, a été intégré à hauteur de 30 %. Cette pondération reflète la vulnérabilité physique des bâtiments face aux aléas climatiques et la capacité du territoire à absorber les chocs environnementaux (îlots de chaleur, pluies diluviennes). Enfin, l'indice social, dérivé du décile de défavorisation (ISQ/MSSS 2021), représente 20 % du score total. Il assure que la priorisation tienne compte des dimensions d'équité territoriale et de justice climatique, en favorisant les zones où les populations sont plus vulnérables. Le score final de priorité est calculé selon la formule : $\text{Score_priorité} = 0.5 \times \text{GES_norm} + 0.3 \times \text{Indice_climat} + 0.2 \times \text{Défavorisation_norm}$. Chaque bâtiment est ainsi classé de manière reproductible et transparente selon sa double vulnérabilité Énergie × Climat, permettant de cibler les interventions à plus fort impact. Cette approche s'inscrit directement dans les critères du Défi CodeML – IRIU × VILLE_IA, en répondant aux dimensions de pertinence, d'équité et de reproductibilité.

5. Zone étudiée

Le périmètre d'étude couvre l'île de Montréal et ses 19 arrondissements. L'analyse porte sur 218 bâtiments municipaux de plus de 2 000 m², répartis sur tout le territoire. Les zones à plus forte vulnérabilité se concentrent dans l'est de l'île (Mercier–Hochelaga–Maisonnette, Montréal-Nord), tandis que les bâtiments récents situés dans le centre et l'ouest affichent de meilleures performances énergétiques.

6. Conclusion et perspectives

Les bâtiments anciens présentent une efficacité énergétique plus faible et des émissions plus élevées, alors que les constructions récentes, bien que plus vastes, affichent une meilleure performance par mètre carré. L'intégration des dimensions sociales et climatiques renforce la capacité du modèle à identifier les bâtiments à double vulnérabilité. Ce pipeline automatisé, reproductible via CKAN et Python, constitue un outil d'aide à la décision pour orienter les investissements municipaux dans le cadre du Plan Climat Montréal 2030.