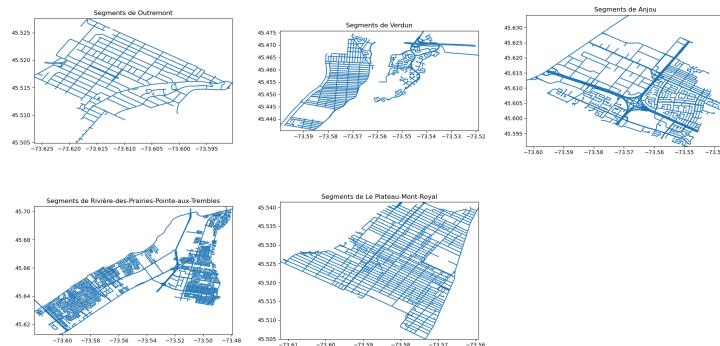


Projet ERO1: déneiger Montréal

1 - Données utilisées

Tout d'abord, l'objectif était de modéliser les 5 quartiers de Montréal. Nous avons pu obtenir un modèle réaliste sous format JSON via le site [Données Montréal](#). Pour exploiter ce fichier JSON comme un graphe, nous avons utilisé plusieurs librairies Python :

- geopandas
- networkx
- sklearn
- itertools



2 - Hypothèses et Choix de Modélisation

Étape des Drones

Pour déterminer le trajet minimal du drone lors du survol du réseau routier, nous avons adopté les hypothèses et choix de modélisation suivants :

Modélisation non orientée : Le quartier a été modélisé par un graphe non orienté, ce qui signifie que les routes peuvent être parcourues dans les deux sens. Cette approche simplifie le problème de parcours pour les drones en éliminant les contraintes directionnelles.

Graphe connexe : Les sens de circulation ne posent pas de problème pour les drones, car ils peuvent se déplacer librement dans toutes les directions. Ainsi, il suffisait que le graphe soit simplement connexe, c'est-à-dire qu'il soit possible de joindre n'importe quels deux nœuds par un chemin. Nous avons choisi d'éliminer les composantes connexes de moins de 10 points pour éviter les anomalies et les chemins inaccessibles dans les données. Cependant, nous n'avons pas conservé seulement la plus grande composante connexe en raison du quartier de Verdun, qui est coupé en deux. Pour simplifier dans un premier temps, nous avons tout de même choisi de garder la plus grande composante connexe.

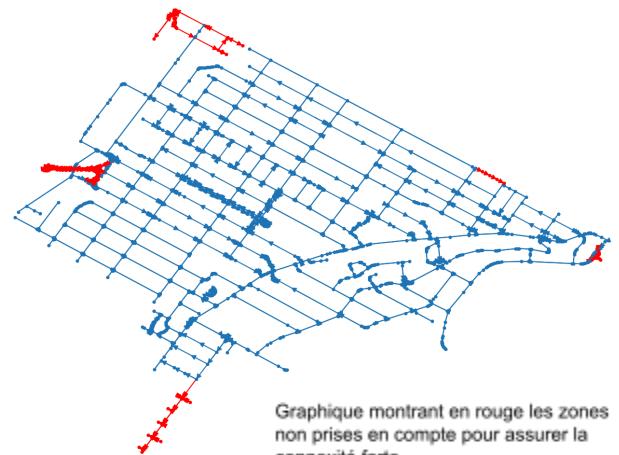
Graphe eulérien : L'objectif était de créer un cycle complet plutôt qu'un simple chemin, car cela permet au drone de revenir à son point de départ. Cette approche est plus pratique pour les opérations de surveillance récurrentes, où le drone doit commencer et terminer au même endroit chaque jour. Pour assurer que le drone puisse revenir à son point de départ après avoir

survolé toutes les routes, nous avons dû rendre le graphe eulérien. Un graphe est eulérien si et seulement si tous ses sommets ont un degré pair. Si ce n'était pas le cas, nous avons ajouté des arêtes entre certains sommets de manière à ce que chaque sommet ait un degré pair. En modélisant le trajet du drone comme un cycle eulérien, nous nous assurons que le drone peut effectuer une surveillance continue sans nécessiter de repositionnement manuel à la fin de chaque mission.

Étape des Déneigeuses

Graphe fortement connexe : Pour pouvoir parcourir les quartiers en entier avec les déneigeuses, il est crucial de travailler avec des graphes fortement connexes afin de trouver un cycle eulérien. Nous avons envisagé plusieurs hypothèses pour atteindre cet objectif :

- **Passer par les quartiers voisins** : Une option était d'autoriser les déneigeuses à passer par les quartiers voisins, ce qui reviendrait à ajouter des routes réelles reliant différents quartiers. Cette approche, bien que potentiellement efficace, aurait considérablement complexifié notre modèle en ajoutant de nombreuses nouvelles connexions et contraintes.
- **Bloquer temporairement les routes** : Une autre possibilité était de bloquer temporairement certaines routes pour les rendre à double sens. Cela aurait impliqué d'ajouter des routes dans le sens opposé pour créer des connexions nécessaires. Cependant, cette approche aurait nécessité des interventions supplémentaires et potentiellement des coûts accrus pour la gestion du trafic.
- **Ignorer les routes problématiques** : Finalement, pour respecter au mieux les contraintes du sujet et simplifier notre modèle initial, nous avons choisi d'ignorer les routes qui posaient problème. Nous avons donc travaillé uniquement avec la plus grande composante fortement connexe de chaque quartier, ce qui évite les impasses potentielles causées par des routes à sens unique et garantit que chaque déneigeuse peut compléter son trajet sans interruption.



Graphique montrant en rouge les zones non prises en compte pour assurer la connectivité forte

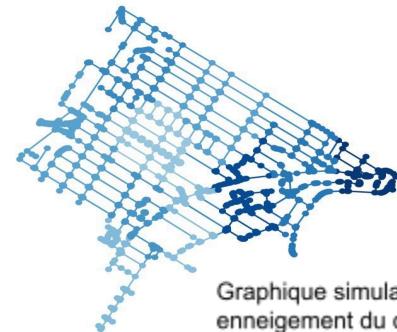
Graphe eulérien : La création d'un cycle eulérien dans un graphe orienté est plus complexe que dans un graphe non orienté. Nous avons adopté l'approche suivante :

- **Ajouter des arêtes** : Pour rendre le graphe eulérien, il est nécessaire que tous les sommets aient un degré pair. Nous avons identifié les sommets de degré impair et ajouté des arêtes entre ces nœuds problématiques. Nous nous sommes assurés qu'une route réelle existait entre ces deux nœuds et avons pris en compte la distance réelle de

ce chemin dans notre modèle. Cette méthode permet de garantir un parcours complet sans nécessiter de modifications complexes des routes existantes.

Modélisation de l'enneigement : Pour simuler les niveaux de neige dans les quartiers, nous avons utilisé une approche basée sur des clusters :

- **Utilisation des Clusters** : En définissant le nombre de clusters ainsi que les niveaux de neige minimaux et maximaux, nous avons pu modéliser différents scénarios d'enneigement. Cette méthode flexible nous permet de concentrer les efforts de déneigement sur les zones les plus touchées, optimisant ainsi l'utilisation des ressources.
- **Ajustement des ressources** : En fonction des niveaux de neige simulés, nous avons ajusté le déploiement des déneigeuses. Les zones avec une neige plus abondante ont été priorisées, utilisant des véhicules plus rapides et efficaces pour garantir un déneigement rapide et complet.



Graphique simulant un enneigement du quartier Outremont

3 - Scénarios pour les Drones et les Déneigeuses

Étape des Drones

Nous avons envisagé différents scénarios pour optimiser le parcours des drones :

1. **Drone Unique** : Un seul drone parcourt tout un quartier. Bien que limité par l'autonomie de la batterie, ce scénario permet d'évaluer la distance totale nécessaire et de générer des idées d'amélioration pour l'optimisation des trajets.
2. **Deux Drones** : Deux drones se partagent un quartier, divisé en zones géographiques. Cette approche réduit significativement la durée d'évaluation du niveau de neige et est plus réaliste en termes d'autonomie de batterie. Le coût supplémentaire de plusieurs drones est négligeable par rapport au coût total des opérations de déneigement, tout en offrant un gain de temps considérable.

Étape des Déneigeuses

Nous avons envisagé différents scénarios pour optimiser le passage des déneigeuses :

1. **Utiliser une seule déneigeuse** : Dans ce scénario, une seule déneigeuse est déployée pour couvrir l'ensemble d'un quartier. Bien que ce soit le scénario le plus simple, il présente des limitations significatives en termes de temps, car une seule déneigeuse mettrait beaucoup de temps à couvrir tout le quartier, surtout dans les grandes zones.
2. **Utiliser plusieurs déneigeuses avec découpage géographique** : Dans ce scénario, plusieurs déneigeuses sont utilisées, et le quartier est divisé en zones géographiques, de manière similaire aux drones. Chaque déneigeuse se voit assigner une zone spécifique à couvrir, ce qui permet de réduire considérablement le temps nécessaire pour déneiger le quartier entier. Cette approche est plus réaliste et efficace, car elle permet de couvrir plus de terrain en moins de temps.
3. **Utiliser plusieurs déneigeuses avec découpage par enneigement** : Ici, le quartier est divisé en zones basées sur les niveaux d'enneigement. Les zones les plus enneigées sont identifiées en premier, et des déneigeuses, notamment de type II (plus rapides et plus efficaces), sont déployées prioritairement dans ces zones. Cette méthode optimise l'utilisation des ressources en concentrant les efforts sur les zones qui en ont le plus besoin, permettant ainsi une intervention plus rapide et ciblée.

4 - Limites de la Modélisation

Composante fortement connexe : En se basant uniquement sur la plus grande composante fortement connexe, certaines zones peuvent être négligées, entraînant une inefficacité dans les opérations de déneigement. Cette approche simplifie le modèle en excluant les routes non fortement connectées, mais ignore des zones potentiellement importantes. Par exemple, dans des quartiers comme Verdun, certaines zones peuvent devenir inaccessibles si elles ne font pas partie de la plus grande composante connexe. Bien que des solutions comme le passage par les quartiers voisins ou le blocage temporaire des routes aient été envisagées, elles ajoutent de la complexité et n'ont pas été retenues dans notre approche initiale.

Modélisation de l'enneigement avec des clusters : Nous avons utilisé des clusters pour simuler les niveaux de neige, ce qui offre une certaine flexibilité mais reste une approximation. L'utilisation de données réelles historiques sur les niveaux de neige aurait permis une modélisation plus précise. En intégrant des données météorologiques passées et des tendances climatiques, nous aurions pu mieux anticiper les variations locales et les anomalies, augmentant ainsi la précision des simulations et des plans de déneigement. Cependant, cette approche aurait nécessité des ressources supplémentaires et une complexité accrue.