

ERO1 - Rapport

iliane.formet

June 2025

Table des matières

1	Extraction et préparation du graphe routier	2
1.1	Source et périmètre	2
1.2	Nettoyage et simplification	2
1.3	Résultat	2
2	Drone	3
2.1	Objectif	3
2.2	Étape 1 : construction du graphe	3
2.3	Étape 2 : cycle eulérien sur tout le graphe	3
2.4	Limite pratique	3
2.5	Spécifications matérielles retenues	3
2.6	Étape 3 : placement des bases et répartition des arêtes	3
2.7	Meilleure solution obtenue	4
2.8	Conclusion	4

1 Extraction et préparation du graphe routier

1.1 Source et périmètre

Le graphe est extrait automatiquement depuis OpenStreetMap avec la bibliothèque `OSMnx`. Nous sélectionnons les « routes carrossables » en mode `drive_service`, ce qui inclut :

- les axes principaux (*primary, secondary, tertiary*) ;
- les routes de service et résidentielles nécessaires au déneigement (*service, residential*).

1.2 Nettoyage et simplification

1. **Reprojection** en coordonnées métriques (EPSG : 32188) pour des distances en mètres.
2. **Contraction** des chaînes de nœuds de degré 2 (sections droites sans véritable intersection).
3. **Fusion** des intersections trop proches (< 15 m) pour corriger les artefacts OSM.

1.3 Résultat

Le graphe obtenu est :

- orienté (arêtes dirigées) ;
- métrique (longueurs en m) ;
- cohérent (nœuds nettoyés/fusionnés) ;

2 Drone

2.1 Objectif

Déterminer un parcours complet du réseau routier de Montréal par drone, en minimisant le coût :

- coût fixe drone : 100 e/jour
- coût kilométrique : 0.01 e/km

2.2 Étape 1 : construction du graphe

Le réseau routier est extrait d'OpenStreetMap puis converti en `MultiDiGraph` orienté ; chaque arête stocke ses coordonnées, sa géométrie et sa longueur.

2.3 Étape 2 : cycle eulérien sur tout le graphe

Avec un seul drone, l'idée naturelle est de trouver un **cycle eulérien** : le drone traverse exactement une fois chaque arête et revient à son point de départ.

- *Condition* : le graphe doit être équilibré (degré entrant = degré sortant pour chaque nœud).
- S'il ne l'est pas :
 - (a) lister les nœuds « excédent +1 » et « déficit -1 » ;
 - (b) calculer les plus courts chemins entre tous les + et - (Dijkstra) ;
 - (c) résoudre l'appariement minimal avec l'algorithme hongrois ;
 - (d) ajouter ces arcs virtuels (segments directs – le drone vole) ;
 - (e) le graphe est alors eulérien ; on extrait le circuit (Hierholzer).

Résultat : un tour $\approx 9\,900$ km, coût ≈ 200 e.

2.4 Limite pratique

Aucun drone civil ne couvre 10 000 km sans recharge, et pas dans des délais raisonnables. Nous scindons donc la tâche : **flotte de drones + plusieurs bases**.

2.5 Spécifications matérielles retenues

Trinity F90 + (Quantum Systems)

- autonomie : 90 min à 60 km/h \rightarrow 120 km utiles
- rayon de contrôle : 100 km
- caméra 42 MP + LiDAR, décollage vertical

Nous conservons 105 km par vol (marge vent/batterie).

2.6 Étape 3 : placement des bases et répartition des arêtes

Hypothèses :

- 5 à 11 bases maximum
- ≤ 25 drones par base
- 1 seul vol par drone par jour pour éviter l'usure trop rapide et garantir un temps de survol du réseau complet en 90min

Algorithme

1. K-Means++ (50 initialisations) pour placer B bases ;
2. affectation capacitaire : on assigne chaque arête à la base la plus proche sans dépasser un quota ($\approx n_{\text{drones}} \times 105$ km) ;
3. correction de la connectivité : chaque cluster doit être faiblement connexe ;
4. pour chaque cluster, on trouve un cycle eulérien et on découpe en tournées ≤ 105 km ;
5. coût = $100 \text{ e} \times n_{\text{drones}} + 0.01 \text{ e} \times \text{distance totale}$;
6. on garde la configuration au plus faible coût.

2.7 Meilleure solution obtenue

Bases : 6 Drones : 102 Distance totale : 9 901 km

TABLE 1 – Répartition optimale des bases et drones

Base	Drones	km circuit	km trajet	Coût (e)
1	17	1 605,1	87,2	1 718
2	17	1 561,0	110,5	1 718
3	19	1 735,4	120,3	1 920
4	9	791,1	52,5	909
5	21	1 812,3	174,1	2 122
6	19	1 739,3	112,5	1 920

Coût total flotte : **10 299** e ($\approx 100\text{e} \times 102 + 0.01\text{e} \times 9\,901\text{ km}$)

2.8 Conclusion

- Le cycle eulérien global fournit un optimum théorique mais impraticable.
- La décomposition en clusters + flotte de 102 drones couvre le réseau en un vol chacun, pour ≈ 10 ke par jour.
- Faire varier B ou la limite de 105 km permet d’explorer d’autres scénarios (plus de bases, moins de drones, etc.).