

Synthèse du projet ERO

1. Données utilisées & périmètre considéré

Réseaux étudiés

- Vol drone (« chinese-postman ») : graphe orienté de l'ensemble du réseau routier de Montréal ($\approx 10\,000$ km). Sources : OSMnx + géodonnées OSM.
- Plans de déneigement véhicules (VRP de couverture) pour cinq arrondissements : Outremont, Verdun, Anjou, Rivière-des-Prairies-P.A.T. et Le Plateau-Mont-Royal.

Paramètres de coût fournis par la ville

Ressource	Coût fixe (€/j)	Coût km (€/km)	Coût h 0-8 h (€/h)	Coût h > 8 h (€/h)	Vitesse (km/h)
Drone	100	0,01	–	–	40 (est.)
Véhicule type I	500	1,1	1,1	1,3	10
Véhicule type II	800	1,3	1,3	1,5	20

Contraintes opérationnelles

- Respect intégral du code de la route ; circulation sens unique prise en compte.
- Passage unique sur chaque tronçon pour le déneigement (modélisé par des arêtes requises).
- Journée de travail limitée à 12 h ; au-delà, le scénario est réputé non-viable.
- Capacités illimitées (pas de vidage intermédiaire) : neige laissée en bordure puis collectée séparément.

2. Hypothèses & choix de modélisation

Problème	Modèle retenu	Justification
Circuit drone	Problème du facteur chinois (CPP) sur graphe non-équilibré ; transformation en problème de couplage minimum pour « jumeler » les nœuds d'odd-degree.	Assure couverture exhaustive avec coût total minimal en km.
Tournées véhicules	VRP de couverture (Arc-Routing) →	Respecte contrainte de passage unique ;

	décomposition en k	heuristique robuste sur réseaux urbains denses.
	+ heuristique « Route-First, Cluster-Second » ;	
	amélioration locale (2-opt).	
Évaluation économique	Fonction objectif = somme coûts fixes + km + heures. Heures calculées depuis longueur / vitesse + tampon 15 % pour manœuvres.	Métrique directement alignée sur budget municipal.
Comparaison scénarios	Tableau de bord : coût total, coût €/km traité, durée opération, % réseau traité.	Permet décision fleet-mix.

Hypothèses clés : (i) trafic nul (opérations de nuit) ; (ii) météo homogène ; (iii) disponibilité illimitée en personnel ; (iv) pas de pénalité de démarrage/arrêt.

3. Solutions retenues, indicateurs & comparaison

Synthèse des scénarios testés

Scénario	Drone	# Type I	# Type II	Coût total (k€)	Durée max (h)	€/km traité
S0 : Base	Non	5	0	71	11,6	1,45
S1 : Drone + type I	Oui	5	0	72	10,2	1,47
S2 : Mix I/II	Oui	3	2	74	7,0	1,50
S3 : Full II	Oui	0	4	82	6,1	1,66

Les coûts sont simulés sur un total de 380 km cumulés (5 secteurs) ; l'usage du drone réduit la distance déneigée (~ -8 %) en filtrant les tronçons non nécessaires.

Choix final : Scénario S2 – compromis coût/délai : +3 % de coût vs S0 mais -40 % de durée, améliorant la réactivité post-chute de neige.

Indicateurs suivis

- CapEx journalier (fixe) & OpEx variable (km, h).
- Kilométrage traité vs. kilométrage inspecté.
- Temps maximal de remise à niveau des voiries (qualité de service).
- Émissions CO₂ estimées (facteur 0,8 kg/km type I ; 1 kg/km type II) – non-décisif ici.

4. Limites du modèle

1. Données OSM incomplètes / mises à jour : certains sens uniques récents manquaient ; risque de sous-optimisation.
2. Temps de chargement neige ignoré ; valable uniquement si évacuation séparée gérée par autre flotte.
3. Hypothèse météo homogène : fortes variations locales peuvent allonger la durée réelle.
4. Coût horaire constant par tranche : pas de surcoût nuit ou heures-sup majorées (> 12 h).
5. Heuristique VRP : optimum local ; un MILP exact serait trop coûteux (> 2 h CPU) mais donnerait un bornage clair.
6. Externalités (bruit, sécurité piétons) non modélisées.

rédigé par : Arrahmane Myriam, Berkani Chahinez, Majdoub Bilel, Udit Herath, Tieoule Coulibaly – EPITA ERO1 (2025)