

EPITA 2024

Déneigement Montreal : ERO synthèse

Rehan KHAN
Arthur MOINE
Theo QUILICHINI
Dmitry TERESHCHENKO
Pierre JACOBÉ

JUIN - JUILLET 2022

1 Introduction

Montréal est une ville connue pour son grand froid et ses différents épisodes neigeux pouvant durer jusqu'à 7 ou 8 mois consécutif. Afin d'assurer la circulation ainsi que les différentes activités de la ville, la municipalité met en place chaque année un important dispositif de déneigement. Ce dispositif se compose de 3000 employés ainsi que 2200 machines qui se battent jours et nuit pour rendre la ville circulaire.

Pour rendre cette opération viable, la ville dispose d'un budget de 7 millions de \$, qui permettront de couvrir les quelques 228 kilomètres de routes et les 449 kilomètres du réseau piétonnier. Ce budget n'est toutefois pas extensible, c'est pour ça que la mairie fait appel à notre super équipe qui permettra d'optimiser les opérations.

Nous allons donc vous présenter dans cette synthèse les différentes solutions que nous avons mises en place pour optimiser le déneigement de Montréal. Tout d'abord nous allons vous montrer comment va fonctionner le système de reconnaissance des zones enneigées par drone. Puis nous étudierons la solution utilisée pour minimiser le trajet des déneigeuses.

2 Survol par drone

2.1 Découpage de la ville en 19 arrondissements

Premièrement, pour le parcours du drone nous avons décidé de diviser la ville en utilisant ses arrondissements. Nous nous retrouvons donc avec 19 arrondissements au total. Dans le cas d'un drone le sens de circulation importe peu et nous sommes donc dans le cas de graphes non orientés.

2.2 Parcours du drone

Pour ce qui concerne le parcours du drone, nous allons devoir chercher le chemin le plus court passant par toutes les routes d'un arrondissement. Pour cela il faut tout d'abord que le graphe représentant notre arrondissement soit Eulerien. Si notre graphe l'est déjà nous pouvons passer à la suite, mais si cela n'est pas le cas il va donc falloir ajouter de nouvelles arêtes à notre graphe pour qu'il le devienne. Le but va alors être d'ajouter des nouvelles arêtes entre les nœuds impaires du graphe (avec un poids égal à la somme des poids du chemin le plus court entre les 2 nœuds en utilisant l'algorithme de Dijkstra) jusqu'à ce que celui-ci devienne Eulerien.

Une fois cette étape réalisée il nous reste seulement à trouver le chemin Eulerien de notre graphe en utilisant l'algorithme du postier chinois. Si notre graphe possède des nœuds impaires il va falloir partir de l'un des 2 et dans le cas contraire nous pouvons partir de n'importe quel nœud du graphe.

2.3 Optimisation du déplacement

Le dernier problème s'exposant à nous est le déplacement du drone d'un arrondissement à l'autre. De plus, la batterie et le stockage de celui-ci n'étant pas infinis, il est bon de savoir où le drone va se retrouver en finissant le balayage d'un arrondissement pour pouvoir éventuellement effectuer une

maintenance nécessaire sur celui-ci.

Notre but va alors être d’afficher sur une carte le point de sortie du drone pour chaque arrondissement, ainsi que de relier ces points de sortie aux points de départ des prochains arrondissements. Pour ce faire, il va donc falloir trouver le chemin le plus court passant par tous les points énoncés auparavant sur la carte et ayant pour extrémités les 2 points les plus éloignés.

3 Déneigement de la ville

3.1 Découpage en zones

Comme précisé dans l’introduction, la ville met à notre disposition 2200 machines pour débayer l’ensemble de la ville. Il faut toutefois faire attention à prendre en compte la circulation des rues. Comme il faut à la fois déneiger le réseaux pedestre et routier, nous proposons de faire des duos, une machine pour chaque réseaux ce qui nous fait 1100 paire de machine. Toutefois, nous avons décidé de diviser ces 1100 paires en deux sous groupe car 1100 était bien trop pour couvrir la ville. Cela fais donc deux paires de machine par zone mais qui ne travaillerons jamais en même temps. La ville peut donc faire une rotation avec ces deux groupe.

Une paire = (machine réseau pedestre, machine réseau routier)

Nous avons donc décidé de séparer la ville en fonction de ces arrondissements qui sont au nombre de 19. Cela nous permet de mieux répartir le temps de travail et d’éviter que des déneigeuses viennent empiéter sur le travail d’une autre, diviser pour mieux régner. Nous avons 19 arrondissements dont la longueur total des routes peut varier d’un arrondissement à un autre. Nous attribuons donc un nombre de machines proportionel à la longueur totale des routes de l’arrondissement. cela nous fait 550 zone à créer pour le total de 19 arrondissements, car comme dis précédemment 2 paires de machines se chargent d’une zone mais qui ne travaillent pas en même temps.

Cette division est réalisée à l’aide de l’algorithme de Girvann Newman qui se base sur la centralité intermediaire d’une arête pour séparer une zone en deux communautés distinctes. On répète ce procédé pour obtenir 55 zones. Toutefois ce calcul est très long (30 min par arrondissement environ), il devra donc être effectué en amont pour appliquer les algorithmes qui vont suivre.

3.2 Parcours des déneigeuses

Afin de trouver les parcours optimaux des déneigeuses à travers les différentes zones de la ville, nous transformons les sous graphes en graphes semi-eulériens car il n’est pas obligatoire que les deineigeuses reviennent à leurs points de départs étant donné qu’elles ne proviennent pas nécessairement de la même zone. Le processus utilisé ajoute des arêtes quand nécessaire en utilisant l’algorithme de Dijkstra pour la recherche du chemin le plus court entre deux noeuds. Contrairement au parcours du drone, les deneigeuses doivent respecter le sens de la circulation. Nous prenons donc désormais en compte les demi-degrés intérieurs et extérieurs dans la transformation du graphe en semi-eulérien.

Une fois le graphe semi-eulérien calculé, nous sommes sûr qu'il contient un chemin eulérien. On calcule ce dernier avec un algorithme inspiré de l'algorithme de Hierholzer. Nous n'utilisons pas la version originale car elle recherche un cycle eulérien et non pas un chemin, c'est pourquoi nous l'avons modifié.

On remplace par la suite les arêtes fictives par la séquence calculée avec l'algorithme de Dijkstra pour obtenir le chemin réel que les déneigeuses devront parcourir. Dans certains cas, la recherche du plus court chemin n'aboutira pas et il faudra donc relancer Dijkstra en considérant cette fois que le graphe n'est pas orienté. Ce cas de figure survient lorsque la zone contient des impasses et il faut donc doubler l'arête concernée.

3.3 Analyse des résultats

Une étude de l'algorithme construisant le parcours, que vous trouverez dans les notebook, a montré que due aux spécificités des rues de Montréal les chemins des déneigeuses sont toujours environ deux fois plus longs que les distances des zones. Sachant que, d'après le sujet, le réseau de Montréal présente 228 km de routes et 449 km de réseau pédestre.

$$(228 + 449) * 2 = 1314$$

La distance totale à parcourir pour les déneigeuses sera de 1314 km.

$$((1314/15) * 60)/1100 = 4,8$$

Supposant que la vitesse moyenne d'une machine est de 15 km/h et avec 1100 déneigeuses qui travaillent à même temps il faudra environ 4,8 minutes pour déneiger la totalité du réseau.

$$1100 * 0,42 * 4,8 = 2217\$$$

En supposant que le salaire moyen d'un employé municipal est de 25\$/heure (0,42\$/minute). Le cout de la main d'oeuvre pour déneiger l'intégralité du réseau une seule fois sera de 2217\$.

$$((1100 * 4,8)/60) * 30 * 2 = 5280\$$$

Une déneigeuse consomme souvent plus de 30 litres par heure d'utilisation. Et le prix d'un litre d'essence au Canada est d'environ 2\$. Pour 1100 déneigeuses qui roulent pendant 4,8 minutes il faudra payer 5280\$ d'essence.

$$89 * 10 * (5280 + 2217) = 6672330\$$$

En moyenne il y a 163 jours de précipitation à Montréal par an. Et sur ces 163 jours il y a environ 89 jours de neige, de la mi-novembre au début avril. Si on considère qu'on déneige l'ensemble du réseau 10 fois par jour. Cela revient à coûter 6672330\$, ce qui entre dans le budget.

4 Conclusion

Notre solution s'effectue donc en deux étapes, la première est la reconnaissance de la ville par un drone pour déterminer les zones à déneigener en fonction de leur niveau d'enneigement. Suite à cela, on attribue des paires de déneigeuses route et trottoir par zone, on calcul ensuite le trajet optimal pour chaque zones dans le but que les déneigeuses libère les rues de la neige en gagnant en temps et en efficacité.