

Optimisation de la collecte des déchets

Le problème de la collecte des déchets peut se modéliser informatiquement. Alliant théorie des graphes et optimisation, cette richesse de concepts étudiés en classes préparatoires et mon goût pour la conception d'algorithmes et la programmation en C et Python, ont fait de ce sujet un choix privilégié.

Depuis le XIXe siècle, chaque ville doit faire face au défi technique et économique que représente la collecte des déchets. Un des enjeux de la ville de demain est d'utiliser les nouvelles avancées technologiques pour répondre à ces besoins, en réduisant le coût financier et l'impact écologique.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *INFORMATIQUE (Informatique Théorique)*
- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *MATHEMATIQUES (Géométrie)*

Mots-clés (ÉTAPE 2)

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Graphes</i>	<i>Graphs</i>
<i>Problème de tournées de véhicules</i>	<i>Vehicle Routing Problem</i>
<i>Algorithmes gloutons</i>	<i>Greedy algorithms</i>
<i>Algorithmes d'approximation</i>	<i>Approximation algorithms</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimization</i>

Bibliographie commentée

La collecte des déchets concerne la circulation de plusieurs camions, dont la consommation en carburant et le coût d'entretien est non négligeable, vers des points de collecte qui se comptent en centaines de milliers pour les plus grandes villes.

Pour répondre à cette demande, des entreprises spécialisées dans la collecte des déchets, comme *Sensoneo* [1], proposent une solution complète d'aménagement par le biais d'une installation de capteurs communicants, mais aussi des logiciels pour planifier des itinéraires.

Cette recherche d'itinéraire constitue un problème d'optimisation, connu sous le nom de problème de tournée de véhicules (Vehicle Routing Problem en Anglais, abrégé VRP [2]).

Ce problème est en fait une généralisation du problème du voyageur de commerce, qui consiste à trouver un chemin hamiltonien de coût minimal dans un graphe complet. Ce dernier étant NP-complet, il est nécessaire d'avoir recours à des algorithmes d'approximation pour le résoudre en temps raisonnable sur de grosses instances.

Dans le célèbre ouvrage *Algorithmique* [3], Cormen, Leiserson, Rivest et Stein proposent

un algorithme qui est une $3/2$ -approximation du problème du voyageur de commerce, c'est à dire qu'il trouve une solution de coût au plus $3/2$ fois le coût optimal.

Cependant, bien qu'efficace, ces algorithmes d'approximation ne permettent pas facilement d'être généralisés à d'autres contraintes, comme la capacité des véhicules. En 2018, Xu, Yuan, Liptrott et Trovati [4] s'attaquent à la version généralisée du problème à plusieurs voyageurs, en proposant une approche en deux phases consistant en un algorithme de clustering, celui des k-moyennes, et un algorithme génétique pour déterminer un itinéraire satisfaisant pour chaque voyageur.

Suivant les contraintes ajoutées à VRP, le problème se décline en plusieurs variantes, la collecte des déchets prend par exemple en compte la position des centres de dépôts des déchets. En 2015, un groupe de chercheurs de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne [5] propose un algorithme de recherche locale, un autre type d'algorithme permettant de résoudre des problèmes d'optimisation complexes, et obtiennent des résultats satisfaisants pour VRP en tenant compte de points de dépôts intermédiaires.

Compte tenu de l'importance des applications de VRP et de ses variantes, des solveurs comme *OR-Tools* [6] de Google voient le jour pour automatiser la recherche de solutions optimales. En revanche, l'utilisation de ces solveurs n'est intéressante que pour de petites instances de problèmes.

Récemment, en janvier 2023, Lopes et Ramos [7] ont proposé une autre approche pour la collecte des déchets, en modélisant la situation par un problème de planification qui consiste à prédire la demande de chaque point de collecte afin de planifier temporellement les déplacements des camions de collecte. En effet, imposer un planning de ramassage pour chaque quartier, comme c'est le cas aujourd'hui dans chaque grande ville, augmente les déplacements peu utiles, et contribue à l'augmentation des périodes de ramassage, alors que de nombreux quartiers souffrent d'une surcharge de déchets.

Problématique retenue

Comment tenir parti du taux de remplissage de chaque poubelle pour optimiser le trajet des camions de collecte ? Quel est le gain économique pour une ville ?

Objectifs du TIPE du candidat

- Simuler avec Python une grande quantité de poubelles via des données OpenData.
- Étudier et implémenter un algorithme de clustering (K-Means).
- Implémenter un algorithme glouton pour le problème de tournées de véhicules.
- Rechercher et implémenter un algorithme d'approximation efficace pour le problème.
- Tester, évaluer les complexités et comparer les résultats des différents algorithmes.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

[1] SENSONEO : More efficient collection resulting in cost savings : <https://sensoneo.com/reference/new-waste-collection-routes/>

[2] WIKIPÉDIA : Vehicule Routing Problem : https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_routing_problem

- [3] T.H. CORMEN, C.E. LEISERSON, R.L. RIVEST AND C. STEIN : Algorithmique : Dunod (2010), ISBN:978-2-10-054526-1
- [4] X. XU, H. YUAN, M. LIPTROTT AND M. TROVATI : Two phase heuristic algorithm for the multiple-travelling salesman problem : *Soft Computing*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2705-5>
- [5] I. MARKOV, S. VARONE AND M. BIERLAIRE : The waste collection VRP with intermediate facilities, a heterogeneous fixed fleet and a flexible assignment of origin and destination depot : <https://infoscience.epfl.ch/record/208988>
- [6] GOOGLE OR-TOOLS : Vehicle Routing : <https://developers.google.com/optimization/routing>.
- [7] M. LOPES AND T. R. RAMOS : Efficient sensor placement and online scheduling of bin collection : *Computers & Operations Research*, t. 151, p. 106 113, 2023, ISSN : 0305-0548. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106113>

DOT

- [1] : Février 2022 : Contact en visio-conférence avec le directeur de l'entreprise Tekin, pour comprendre comment développer des solutions technologiques dans une ville.
- [2] : Juillet 2022 : Compréhension du problème algorithmique et lecture de thèses autour du problème CVRP.
- [3] : Août 2022 : Recherche de données OpenData concernant les poubelles et affichage avec Python (bibliothèques OSMnx, numpy, networkx)
- [4] : Octobre 2022 : Etude et implémentation de l'algorithme de clustering K-Means.
- [5] : Mai 2023: Implémentation d'un algorithme glouton pour CVRP.
- [6] : Juin 2023: Implémentation d'un algorithme de type "cluster first - route second" et comparaison des résultats.