

Distribution optimale et maximale de biens à livrer au sein d'une ville.

En plus d'être un problème actuel qui est l'objet de beaucoup de réflexions, j'ai trouvé que le sujet était bien équilibré entre son caractère suffisamment ouvert qui me donne une certaine

liberté dans la manière de l'explorer, et son caractère relativement simple qui permet une modélisation informatique concise et pratique.

Mon sujet concerne la distribution de ressources à l'intérieur d'une ville, ce qui est explicitement inscrit dans le thème.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

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

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Livraison de biens</i>	<i>Goods delivery</i>
<i>Problème d'optimisation</i>	<i>Optimization problem</i>
<i>Flot maximum</i>	<i>Maximum flow</i>
<i>Algorithme de Dinitz</i>	<i>Dinitz' algorithm</i>
<i>Algorithme pseudo-probabiliste</i>	<i>Pseudo-probabilistic algorithm</i>

Bibliographie commentée

La distribution optimale de ressources dans une zone donnée et selon des contraintes de cheminement, de moyens, et de demande variées, est un problème qui a suscité, et suscite encore, la

réflexion de nombreux ingénieurs. Elle use notamment des travaux sur le problème de flot maximum. C'est un problème NP-complet où l'on cherche, dans un graphe appelé réseau de flot (où chaque arc est caractérisé par sa capacité et le flux qui y passe), à maximiser le flot qui

d'un nœud source à un nœud destination, tout deux donnés. [1]

Concernant ce problème, En 1970, Yefim Dinitz propose une version de l'algorithme de Ford-Fulkerson qui tient intelligemment compte des distances entre les nœuds afin d'obtenir le premier algorithme résolvant ce problème qui a une complexité linéaire par rapport au nombre d'arcs du réseau (multipliée par le nombre de sommets, au carré). Shimon Even en a ensuite fait une version légèrement différente et popularisa la méthode en Europe. Cet algorithme ouvrit des portes dans plusieurs domaines tels que les systèmes de transport et les réseaux de

télécommunications. [1] Plus tard, en 1993, Karp, Motwani et Nisan proposent un algorithme probabiliste de Monte-Carlo qui donne, avec une complexité linéaire en la taille du graphe, une solution en pratique très proche de l'optimale. Ces algorithmes sont utilisées de nos jours par les sociétés proposant des applications capables de donner des tournées optimisées pour des livreurs, postiers, et diverses entreprises de livraisons. [2]

En prenant un peu d'inspiration sur des stratégies et conseils proposés par des commerciaux qui travaillent dans l'optimisation de tournées pour exploiter les algorithmes qu'ils utilisent [3, 4],

j'ai pu mettre au point un modèle simple mais néanmoins intéressant sur lequel travailler.

Sommairement, je considère une livraison quotidienne d'une ressource arbitraire dans une grande ville qui se fait en deux temps. D'abord, des camions transportent la marchandise d'entrepôts à l'extérieur de la ville vers des centres de distribution dans la ville, en supposant au préalable une quantité suffisamment grande de ressources pour la considérer infinie. Ces ressources sont ensuite

livrées des centres à des établissements, ayant des horaires d'ouverture propres, lorsqu'ils sont ouverts, en supposant que la demande issue de ces établissements est très grande, supposée alors infinie, lorsqu'ils sont ouverts.

Il sera question d'utiliser des algorithmes et méthodes adaptés à chaque étape de la livraison, puis de tester l'efficacité de cet algorithme dans une situation concrète. On utilisera alors

OpenStreetMap [5] pour générer un graphe représentant Paris de manière simplifiée et on comparera les résultats de notre algorithme à ceux d'applications célèbres tels qu'éventuellement Google Maps et Waze, pour ensuite conclure vis à vis des limites et points remarquables de notre algorithme.

Problématique retenue

Dans un contexte où la demande générale en biens à livrer augmente régulièrement ces dernières années, comment optimiser et maximiser la distribution de ressources arbitraires, supposées abondantes, dans une grande ville ?

Objectifs du TIPE du candidat

- Modéliser de manière suffisamment réaliste, mais simple, la situation sous forme d'un problème d'optimisation
- Trouver un algorithme donnant une solution satisfaisante du problème en traitant d'une part la livraison de ressources à partir d'entrepôts extérieurs à la ville vers des centres de distribution dans la ville, puis d'autre part la livraison de ces centres vers les clients
- Comparer, en usant de données concrètes issues d'OpenStreetMap, les résultats obtenus par notre algorithme et ceux données par des applications populaires telles que Waze ou Google Maps ;
puis conclure.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] RICHARD M. KARP, RAJEEV MOTWANI, NOAM NISAN : Probabilistic Analysis of Network Flow Algorithms : <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1988/CSD-88-392.pdf> (1993)
- [2] YEFIM DINITZ : Dinitz' Algorithm : The Original Version and Even's Version : https://doi.org/10.1007/11685654_10 (2006)
- [3] ANTSROUTE (SOCIÉTÉ COMMERCIALE) : Comment l'optimisation de tournées de livraison améliore vos performances en 2021 ? : <https://antsroute.com/blog/comment-optimisation-de-tournees-delivraison-ameliore-vosperformances-en-2021/> (vu le 09/01/2023)
- [4] KARDINAL (SOCIÉTÉ COMMERCIALE) : Quelle complexité mathématique pour l'optimisation de tournées ? : <https://kardinal.ai/fr/mathematiques-et-optimisation-de-tournees/> (vu le 23/01/23)
- [5] LES CONTRIBUTEURS OPENSTREETMAP (SITE DE SERVICES EN LIGNE) : Intersections des rues et routes de France : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/intersections-des-rues-et-routes-de-france/> (Novembre 2021)

DOT

- [1] : Mi-Octobre 2022 : Décision de centrer mon TIPE sur la distribution optimisée de ressources et de le lier au problème de flot maximum ; premiers contacts avec l'algorithme de Dinitz, relativement performant tout en restant accessible.
- [2] : Novembre 2022 : Fin de la première version de l'implémentation de l'algorithme de Dinitz ; recherche d'un algorithme accessible et adapté pour le problème du flot maximum avec sources et puits multiples.
- [3] : Mi-Novembre 2022 : Après recherches, prise d'intérêt pour un algorithme probabiliste de Karp, Motwani et Nisan ; début d'élaboration du modèle théorique entourant mon projet.
- [4] : Janvier 2023 : Mise au point finale de la modélisation théorique accompagnant le projet.
- [5] : Fin Février 2023 : Implémentation d'un algorithme de couplage parfait probabiliste, nécessaire à celui de Karp, Motwani, et Nisan.
- [6] : Mars 2023 : Implémentation d'algorithmes d'affinage (fine-tuning) et de résolution du problème de transportation sous capacité restreinte; compréhension du lien de ce dernier avec les matrices 0-1 et leur réalisation.
- [7] : Mai 2023 : Implémentation de l'algorithme de Karp, Motwani, Nisan concernant mon problème; mise au point de l'algorithme final ainsi que d'algorithmes d'importation et exportation de graphes (DIMACS, GEXF) afin de tester l'efficacité des algorithmes obtenus, en se basant sur mon modèle.
- [8] : Juin 2023 : Dernières corrections, « debugging », tests de performance.