

Le drone livreur, ou le nouveau voyageur de commerce.

De grandes entreprises, comme Amazon pour n'en citer qu'une, installent aujourd'hui dans différents pays comme en Belgique des centres de distributions de colis où des drones font office de livreurs. Nous avons alors voulu étudier les différentes organisations et optimisations possibles pour un tel système.

La livraison par drone est d'autant plus efficace en métropole qu'elle permet le désengorgement des centres-villes, la minimisation des coûts en personnel et qu'elle répond parfaitement aux exigences du milieu urbain (courte portée, rapidité et verticalité). Le système ainsi que ses optimisations sont alors facilement transposables à différentes échelles.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- *RINGOOT Axel*

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

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

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Grphe</i>	<i>Graph</i>
<i>Problème du voyageur de commerce</i>	<i>Traveling Salesman Problem</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimization</i>
<i>Complexité</i>	<i>Complexity</i>
<i>heuristiques</i>	<i>heuristics</i>

Bibliographie commentée

Le problème du voyageur de commerce figure parmi les problèmes NP-complets les plus classiques et par suite les plus connus et étudiés. Pléthore de documents scientifiques allant d'un simple article le définissant à des mémoires et thèses proposant des méthodes de résolutions toutes plus complexes et ingénieuses les unes que les autres sont à la disposition sur Internet. Nous avons d'abord décidé de rechercher des documents présentant des méthodes de résolutions standards ([2], [3], [4], [7]), puis des articles témoignant d'expériences déjà réalisées ainsi que d'améliorations possibles ([4], [5], [6]). Enfin, dans notre objectif d'appliquer le problème à une flotte de drones, nous avons cherché à l'adapter à plusieurs voyageurs de commerce simultanés ([1], [4]).

Les drones livreurs sont en pleine expérimentation, comme en Belgique avec Amazon, et sont considérés comme le futur du monde de la livraison tant par leur rapidité que leur coût d'action. Un centre de contrôle (potentiellement automatisé) équipé d'une flotte de drones permettra alors d'assurer à lui seul la livraison de colis dans une zone proche. Toutefois leur utilisation peut poser des problèmes aussi bien d'un point vu sécuritaire (si des drones viennent à ne plus répondre et tombent du ciel) comme législatif (des zones de non-survol existent dans tous les pays, surtout en ville). Bien qu'elles puissent faire l'objet d'une étude approfondie afin de les résoudre du mieux possible, nous ne nous pencherons pas sur ces problématiques. Nous considérerons donc que la circulation des drones se fera sans obstacle, dans un rayon de 15 à 30km autour d'un entrepôt, qui pourra être adapté à toute échelle plus petite [1].

Il existe de nombreuses solutions au problème du voyageur de commerce classique comme la programmation par contrainte consistant à définir plusieurs exigences réduisant le champ des solutions possibles (pouvant indiquer alors si le modèle choisi est trop contraignant pour pouvoir déterminer une quelconque solution) [3]. Une autre approche possible est la Procédure par Séparation et Évaluation qui repose sur le parcours d'un arbre de recherche (arbre binaire équilibré) modélisant la situation [7]. Enfin, l'utilisation d'algorithmes génétiques qui cherchent à résoudre le problème via des comportements d'animaux comme des fourmis [7] & [4] peut s'avérer pertinente.

Concernant la méthode relaxée, consistant à devoir passer au moins 1 fois par chaque ville, ramener le problème à un programme linéaire en décrivant l'enveloppe convexe de ses solutions par des inéquations linéaires est une méthode efficace et qui pourrait même permettre de découper la zone à livrer en plusieurs secteurs à répartir par la suite entre les drones [2].

Pour que notre modélisation soit cohérente, il sera important de choisir des paramètres (comme l'autonomie ou la vitesse des drones) proches de conditions réelles. Une heuristique possible prenant en compte cela est l'approche de Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMC) par la méthode de Metropolis-Hastings permettant d'extraire une séquence d'échantillons aléatoires d'une distributions de probabilité lorsque l'échantillonnage direct n'est pas pratique [5]. Ce même document fait également état de nombreuses données viables et utiles pour lancer des simulations cohérentes comme la mise en relation du nombre de sommets avec la vitesse et l'autonomie du drone.

Une variante du problème du voyageur de commerce, appelé problème du voyageur multicolore, permet d'adapter la modélisation initiale à une modélisation prenant en compte un ensemble fini de voyageurs en même temps. L'idée est de caractériser le problème par des couleurs, chaque couleur représentant un ensemble de sommets. Chaque ensemble doit alors être

considéré comme un seul problème du voyageur en tant que tel. Résoudre ce nouveau problème se fait en appliquant les résolutions classiques, avec un voyageur, sur le problème global puis sur chaque sous-problème avec un voyageur différent [1].

Problématique retenue

Comment, dans une optique d'optimisation temporelle et matérielle, transposer le problème du voyageur de commerce et les algorithmes y répondant à la gestion d'une flotte de drones ?

Objectifs du TIPE du candidat

L'objectif premier sera de trouver, d'implémenter et d'analyser à la fois un algorithme donnant une solution optimale en un temps pouvant être humainement long, et un algorithme donnant une solution approchée bien plus rapidement. Grâce à la NP-complétude de ce problème, on pourra s'inspirer de méthodes de résolution d'autres problèmes NP-complets pour résoudre celui-ci.

L'objectif second sera alors de transposer ces solutions à un ensemble de plusieurs voyageurs simultanés et d'optimiser les paramètres du problèmes, comme le nombre de voyageurs pour avoir une tournée faite en temps raisonnable, ainsi que les algorithmes, pour déterminer cette tournée en un temps minimal.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] MADHI KHEMAKHEM : Le problème du voyageur de commerce multicolore : *Mémoire du Diplôme d'étude approfondie : Automatique et Informatique des Systèmes Industriels et Humains, Juillet 2003*
- [2] ARMAND NACHEF : Problème du voyageur de commerce relaxé : études algorithmiques et polyédrales : *Thèse d'informatique et mathématiques appliquées, option recherche opérationnelle, 1988*
- [3] NICOLAS ISOART : Le problème du voyageur de commerce en programmation par contraintes : *Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur, novembre 2021*
- [4] BERNARD TADUNFOCK TETI , LAURE PAULINE FOTSO : Heuristiques du problème du voyageur de commerce : *Université de Yaoundé I, Cameroun, 2006*
- [5] MOHAMED CHAKCHOUK, ABDELKHALAK EL HAMI, PIERRE-RICHARD DAHOO, AZZEDINE LAKHLIFI, WAJIH GAFSI, ET AL.. : Optimisation de plan de vol d'un drone faisant un cycle hamiltonien entre N points de mesures : *Problème du voyageur de commerce et durée de vie de batterie. ; Uncertainties and Reliability of Multiphysical Systems, ISTE OpenScience, 2022, 6 (1), 7p. 10.21494/ISTE.OP.2022.0806. insu03602789*
- [6] GALLET, JOYCE : Analyse de l'organisation et des impacts d'une nouvelle implantation de drones de livraison d'Amazon en Belgique. : *Louvain School of Management, Université catholique de Louvain, 2019. Prom. : Fouss, François. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:20838>*
- [7] YIFANG LI, YANNICK KERGOSIEN & JEAN-CHARLES BILLAUT, INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES DU NUMÉRIQUE : Le

problème du voyageur de commerce : <https://interstices.info/le-probleme-du-voyageur-de-commerce/> (consulté de Mai 2022 à Février 2023)

Références bibliographiques (ÉTAPE 2)

- [1] CHRISTIAN LAFOREST : A la découverte des graphes et des algorithmes de graphes : EDP Sciences - 20 Avril 2017
- [2] BARKA MERIEM : Le problème du voyageur de commerce : solution exacte et approchée : Mémoire de fin d'étude, Université de M'SILA, promotion 2014/2015
- [3] CONTRIBUTEURS DE WIKIPÉDIA : Problème du voyageur de commerce : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Probl%C3%A8me_du_voyageur_de_commerce&oldid=204772249 (Page consultée de Septembre 2022 à Juin 2023)
- [4] CONTRIBUTEURS DE WIKIPÉDIA : Problème de tournées de véhicules : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Probl%C3%A8me_de_tourn%C3%A9es_de_v%C3%A9hicules&oldid=199862541 (Page consultée de Mai à Juin 2023)
- [5] CONTRIBUTEURS DE WIKIPÉDIA : Problème de l'arbre de Steiner : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Probl%C3%A8me_de_l%27arbre_de_Steiner&oldid=175172450 (Page consultée de Mars à Juin 2023)

DOT

- [1] : Juin 2022 : projet sur les drones trouvé; focalisation sur la distribution des tâches et la réalisation d'un parcours pour chaque drone.
- [2] : Septembre 2022 : découverte du problème du voyageur de commerce et de son lien avec notre projet.
- [3] : Novembre 2022 : implémentation de notre modélisation du problème ainsi que de la résolution naïve du plus proche voisin, une des solutions approchées possibles.
- [4] : Janvier 2023 : établissement des objectifs finaux à l'aide de nombreuses documentations.
- [5] : Mars 2023 : Etude de la résolution exacte de Branch and Bound (par notre cours d'informatique puis par de la documentation en ligne). Echec de notre modélisation, simplification de cette dernière (plus de contrainte d'obstacles).
- [6] : Mai 2023 : Implémentation de la résolution exacte et des découpages de la zone à couvrir dans le but d'avoir plusieurs voyageurs de commerce.
- [7] : Juin 2023 : Finalisation du projet avec les conclusions et résultats.