

# Optimisation des trajectoires de drones en milieu urbain

Zahraa Asfour<sup>1</sup>, Sonia Cafieri<sup>1</sup>, Andrija Vidosavljevic<sup>1</sup>

ENAC, Université de Toulouse

{zahraa.asfour, sonia.cafieri, andrija.vidosavljevic}@enac.fr

**Mots-clés :** *Optimisation combinatoire, Optimisation de trajectoires, Déconfliction*

## 1 Introduction

Les drones, également appelés systèmes d'aéronefs sans pilote (UAS, *Unmanned Aircraft Systems*), sont de plus en plus utilisés en milieu urbain pour diverses applications telles que la surveillance ou la livraison de colis. Par exemple, Amazon, avec son service Amazon Prime Air, envisage de réaliser des livraisons en moins de 30 minutes en utilisant ces drones. Cependant, il est important de prendre en compte un facteur déterminant pour la gestion des drones en milieu urbain : la densité du trafic aérien. Cette densité présente un défi unique dans la gestion des drones. Plus le nombre de drones en vol est élevé, plus les risques de perte de séparation - c'est-à-dire le non-respect de la distance minimale de sécurité entre deux drones - augmentent. Cela pourrait conduire à des collisions, mettant en danger non seulement les drones eux-mêmes, mais aussi les personnes et les biens au sol. Pour éviter les pertes de séparation dans la gestion du trafic des drones, plusieurs leviers peuvent être envisagés, telles que le réacheminement de la trajectoire, l'ajustement de la vitesse en vol, le retardement du décollage, ou l'attribution de différents niveaux de vol.

## 2 Présentation du problème

Le problème considéré dans cette étude concerne la conception de trajectoires 4D optimales pour des drones, qui respectent deux à deux des normes de séparation à chaque instant de temps. Pour chaque drone une paire origine/destination et un temps prévu de départ sont connus. Une trajectoire 4D, dans le contexte de la navigation aérienne, fait référence à une trajectoire d'un véhicule volant en tenant compte non seulement des dimensions spatiales - latitude, longitude et altitude - mais aussi du facteur temporel. Dans notre approche, les drones décollent verticalement jusqu'à atteindre un niveau de croisière prédéterminé, puis se déplacent horizontalement le long d'un chemin fixé, sans changer de niveau de vol, avant d'atterrir verticalement. L'objectif est de minimiser la durée totale des vols d'un ensemble de drones sous un horizon temporel donné. Les leviers d'optimisation choisis pour chaque drone sont : la durée d'attente au sol avant le décollage, le niveau de vol, le chemin en croisière et le temps d'arrivée à chaque intersection du chemin. Notre étude s'appuie sur les recherches antérieures de [1], mais se distingue de celui-ci par la capacité du drone à ajuster le temps d'arrivée à chaque point d'intersection sur le chemin de croisière. Contrairement à [1], où les drones sont considérés avec un profil de vitesse nominal constant, notre approche permet des ajustements de vitesse à chaque segment du chemin et pour chaque véhicule individuellement en fonction des conditions de vol. Un modèle de programmation linéaire mixte en nombres entiers (MILP) est proposé dans lequel les contraintes principales visent l'évitement des pertes de séparation.

Nous considérons plusieurs stratégies de résolution du problème. Une première approche est d'optimiser tous les leviers présentés ci-dessus. Une deuxième approche consiste à définir dès le départ un chemin horizontal pour chaque drone, qui correspond au chemin le plus court en

termes de durée. Les tests réalisés révèlent que en général il est plus avantageux de sélectionner le chemin nominal, et ajuster la vitesse pour éviter les conflits, plutôt que de choisir un chemin plus long qui nécessiterait également des modifications de vitesse.

Une troisième stratégie fixe simultanément le chemin horizontal et le niveau de vol pour chaque drone et détermine le temps d'arrivée du drone à chaque intersection du chemin horizontal.

### 3 Résultats

Afin de valider nos approches, nous avons choisi la ville de Vienne comme environnement urbain pour nos tests. Des comparaisons ont été effectuées sur les différentes approches en utilisant des instances de tailles variées (50, 100, ..., 200 vols). Pour résoudre nos problèmes de programmation linéaire mixte en nombres entiers (MILP), nous avons utilisé le solveur commercial Gurobi [2]. Un des objectifs principaux de notre étude était d'évaluer l'impact de la taille des instances sur le temps de résolution et la qualité des solutions obtenues.

Les résultats montrent que l'approche où les chemins horizontaux sont fixés, donne des solutions de même qualité en termes de fonction objectif que la première approche, tout en se distinguant par un temps de résolution cinq fois plus court en moyenne. De plus, l'approche combinant des chemins fixes et des niveaux de vol fixés, bien qu'entraînant une légère augmentation de la fonction objectif (environ 0.04 %), permet également de réduire de moitié le temps de résolution par rapport à l'approche fixant seulement les chemins horizontaux.

Lorsque nous comparons nos approches à celle de [1], nous observons que les solutions obtenues par notre approche, où les chemins horizontaux sont fixés, donne des meilleurs résultats en termes de qualité de la fonction objectif, avec un écart moyen de plus de 0.1 %. De plus, cette approche nécessite un temps de résolution environ deux fois moins long que celui requis par l'approche de [1].

### Références

- [1] Bereziat, Denis and Cafieri, Sonia and Vidosavljevic, Andrija Metropolis II : Centralised and strategical separation management of UAS in urban environment. In *12th SESAR Innovation Days*.
- [2] Gurobi Optimization, LLC. Gurobi Optimizer Reference Manual. <https://www.gurobi.com>