HAL
open science

Optimisation des routes de départ et d'arrivée dans la TMA

Jun Zhou, Sonia Cafieri, Daniel Delahaye, Mohammed Sbihi

To cite this version:

Jun Zhou, Sonia Cafieri, Daniel Delahaye, Mohammed Sbihi. Optimisation des routes de départ et d'arrivée dans la TMA. ROADEF 2015, 16ème conférence de la Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision, Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision, Feb 2015, Marseille, France. hal-01119530

HAL Id: hal-01119530

https://enac.hal.science/hal-01119530

Submitted on 4 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Optimisation des routes de départ et d'arrivée dans la TMA

Jun Zhou, Sonia Cafieri, Daniel Delahaye, Mohammed Sbihi

ENAC, MAIAA, F-31055
Univ. de Toulouse, IMT, F-31400
Toulouse, France
junzhou@recherche.enac.fr
{sonia.cafieri, daniel.delahaye, mohammed.sbihi}@enac.fr

Mots-clés : *conception de SID/STAR, Branch and Bound*

1 Introduction

La forte augmentation du trafic aérien induit une congestion dans la zone proche des aéroports appelée TMA [1]. Les départs et les arrivées des aéroports se font suivant des routes dites SID [2] et STAR [3]. L'optimisation de ces routes est un moyen pour réguler le trafic et donc de réduire la congestion autour des aéroports. Dans ce travail nous étudions le problème de la conception de SID et STAR en prenant en compte la configuration et l'environnement autour des aéroports. Il existe beaucoup de travaux consacrés à la conception de trajectoires (voir [1] pour un survol), mais à notre connaissance peu de travaux sont dédiés à la conception de SID et STAR (e.g. [3]). Dans cette dernière, on doit tenir compte de contraintes opérationnelles (la séparation verticale et horizontale entre les routes, l'évitement d'obstacles, la courbure des routes, la pente des routes tenant compte des taux de montée et de descente des aéronefs) et environnementales (des nuisances sonores, des zones urbaines).

2 Modélisation et approche de résolution

Les contraintes dans les TMA font de la conception de SID et STAR un problème très complexe. Par conséquent, cette étude se focalise sur un sous-problème plus simple qui concerne la conception d'une seule route. Nous observons sur Figures 1 et 2 que l'ensemble des profils de descente et de montée des aéronefs est contenu dans un cône délimité par deux droites de pente α_{min}, α_{max}. Ce cône ne dépend pas du profil horizontal de la route des aéronefs. La particularité est donc qu'il peut être vu comme un problème de conception d'une route 2D (représentant le profil horizontal) telle que le cône associé (représentant l'ensemble des profils verticaux) évite tous les obstacles. Les obstacles en nombre $m \in \mathbb{N}$, sont modélisés sous forme de cylindres en 3D. Chaque cylindre Ω_i est défini par $(x_i, y_i, r_i, z_{i_{inf}}, z_{i_{sup}})$, où (x_i, y_i) et r_i sont le centre et le rayon du cercle projecté sur le plan horizontal ; $z_{i_{inf}}$ (resp. $z_{i_{sup}}$) est l'altitude de la base inférieure (resp. supérieure) du cylindre. Nous proposons une formulation mathématique en termes de problème d'optimisation en nombres entiers. Nous cherchons une route de longueur minimale constituée d'une succession de segments et d'arcs de cercle. Un arc de cercle sert à contourner un obstacle, un segment sert à connecter tangentiellement deux obstacles. La route optimale ne tangente pas nécessairement tous les obstacles. Les obstacles tangentés sont dits *actifs*. Nous introduisons la variable s_i :

$$s_i = \begin{cases} 1, & \text{si l'obstacle } \Omega_i \text{ est actif} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \qquad i \in \{1, \cdots, m\}$$

1. Terminal Maneuvering Area
2. Standard Instrument Departure
3. Standard Terminal Arrival Routes

Par ailleurs, le contournement des obstacles peut se faire dans le sens trigonométrique ou anti-trigonométrique. Pour cela nous introduisons la variable t_i :

$$t_i = \begin{cases} 1, & \text{si l'obstacle } \Omega_i \text{ est contourné} \\ & \text{dans le sens trigonométrique} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \qquad i \in \{1, \cdots, m\}$$

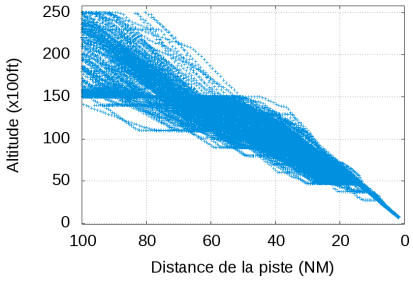

FIG. 1 – Flux d'arrivée à CDG

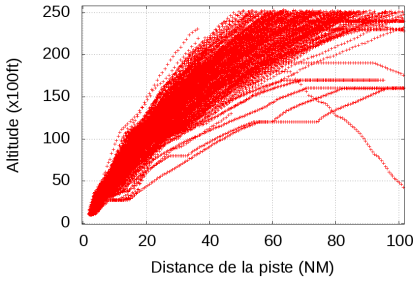

FIG. 2 – Flux de départ à CDG

Nous nous inspirons de *Eele et Richards* [2] qui utilisent une méthode de Branch and Bound (B&B) pour résoudre le problème de planification des trajectoires évitant des obstacles en 2D, et nous l'étendons pour tenir compte de la particularité de notre problème (une route en 2D avec un cône représentant le profil de montée ou de descente). Dans l'arbre de recherche du B&B, un sous-problème est caractérisé par l'activation de certains obstacles et le choix du sens de leur contournement. Le calcul de borne inférieure de chaque sous-problème se fait en générant la route en 2D qui ne tangente que les obstacles actifs et en calculant sa longueur. Ensuite cette route est utilisée pour générer deux nouvelles branches (si un obstacle non actif est intersecté), et sa longueur est utilisée pour couper éventuellement la branche (si la longueur est supérieure à la meilleure valeur connue).

3 Perspectives

Comme suite de notre étude, nous envisageons premièrement de considérer des profils de montée ou de descente contenant des paliers (ce qui conduit à une nouvelle possibilité de branchement dans le B&B). Deuxièmement, nous allons étudier le problème général en considérant plusieurs routes évitant des obstacles et séparées entre elles.

Références

[1] D. Delahaye, S. Puechmorel, P. Tsiotras and E. Feron. Mathematical models for aircraft trajectory design : A survey. *Air Traffic Management and Systems*, pages 205-247. Springer, 2014.

[2] J.A. Eele and A Richards. Path planning with avoidance using nonlinear branch and bound opti-mization. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, volume 32, pages 384-394, 2009.

[3] D.M. Pfeil. Optimization of airport terminal-area traffic operations under uncertain weather conditions. M.S. Thesis, SSM, MIT, Cambridge, 2011.