Un algorithme mémétique pour construire des trajectoires d'aéronefs robustes aux aléas météorologiques

Sonia Cafieri[1], Alexandre Gondran[1], Sandra U. Ngueveu[2,3]

[1] École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC MAIAA)
{cafieri,gondran}@enac.fr
[2] CNRS ; LAAS ; 7 av. du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France.
[3] Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France.
ngueveu@laas.fr

Mots-clés : *algorithme mémétique, plus court chemin, optimisation robuste.*

1 Problématique

Les conditions météorologiques (vents, orages, neige...) sont responsables de 50% des retards du trafic aérien et de 10% des accidents. Construire des trajectoires qui évitent les orages ou les tempêtes de neige et qui profitent des vents pour diminuer la durée du vol est un enjeu majeur pour les compagnies aériennes, notamment pour les trajets océaniques non soumis aux couloirs aériens (cf. les *flextracks* [1]). Nous proposons de résoudre ce problème de plus court chemin par un algorithme mémétique qui construit de bonnes trajectoires pour des aéronefs dans un champs de vent. Afin de maîtriser les aléas intrinsèques aux prévisions météorologiques, une approche robuste, fondée sur un ensemble de scénarios de vents, est présentée : robustesse moyenne et absolue, déviation relative et absolue...

2 Modélisation et méthode de résolution

Nous présentons un premier modèle où des trajectoires en deux dimensions (longitude, latitude) sont pris en compte ; l'altitude est considérée constante sur l'ensemble d'un vol.

2.1 Variables de décision : modélisation des trajectoires par des B-splines

La trajectoire d'un aéronef est définie par des B-splines quadratiques [2]. Cette représentation est très économe en codage puisque seuls trois points de contrôle suffisent à décrire un vol transatlantique. Les variables de décision du problème sont donc les coordonnées (longitude, latitude) de ces points de contrôle.

2.2 Fonction objectif et modèle robuste

La fonction à minimiser est la durée du vol de l'aéronef. Pour calculer cette durée, la trajectoire est discrétisée en une suite de points. On estime la durée mise par l'aéronef pour aller d'un point à l'autre à l'aide du triangle des vitesses et en considérant la vitesse air de l'aéronef constante sur l'ensemble du vol.

Pour tenir compte des aléas météorologiques, un ensemble de scénarios de champs de vent est défini ; à chaque scénario correspond une probabilité de réalisation et une durée de vol. Il est alors possible d'optimiser selon différents critères : 1° robustesse moyenne : l'objectif est de trouver une route qui minimise la moyenne des durées ; 2° robustesse absolue : l'objectif est de trouver une route qui minimise le pire scénario ; 3° déviation absolue : l'objectif est de trouver

une route qui minimise l'écart à l'optimal du pire scénario ; 4° déviation relative : l'objectif est de trouver une route qui minimise l'écart relatif à l'optimal du pire scénario.

2.3 Algorithme mémétique

Un algorithme mémétique [3] a été développé pour résoudre ce problème. À chaque génération, deux trajectoires sont sélectionnées ; le croisement consiste simplement à échanger ou mélanger des points de contrôle et la mutation est remplacée par une recherche locale qui effectue une descente en modifiant géographiquement les positions des points de contrôle.

3 Résultats

Pour valider notre approche, nous avons testé notre algorithme sur un jeu d'instances dont nous connaissons l'optimum [4] ou en le comparant aux résultats obtenus par l'algorithme de Dijkstra [5]. Ensuite, des tests sur de véritables instances de vents ont été réalisés. À titre d'exemple, la figure 1 présente un résultat d'une optimisation simple (un seul scénario de vent : celui du 13 avril 2008) pour le trajet Toulouse - Delhi de 6 765,93 km avec un dirigeable dont la vitesse est de 180 km/h. L'intégration d'objets météorologiques est en cours de développement et sera présentée à la conférence.

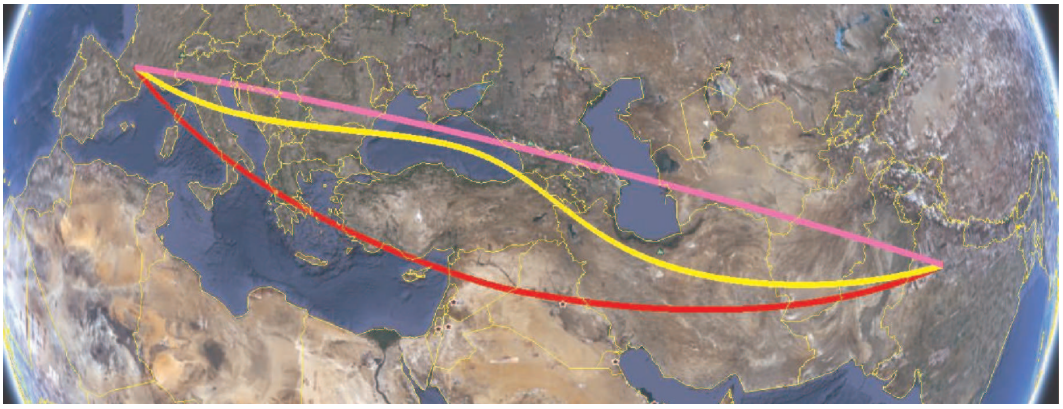


FIG. 1 – La durée du vol Toulouse → Delhi obtenue par notre algorithme est de 23h49 (en jaune) tandis que pour la route directe, elle est de 25h03 (en violet). La durée du vol Delhi → Toulouse obtenue est de 24h42 (en rouge) tandis que pour la route directe, elle est de 24h47 (en violet).

Références

[1] www.airservicesaustralia.com/environment/flextracks/

[2] C. Peyronne, L. Lapasset, D. Delahaye. Conflict-free trajectory optimization using B-splines and Genetic Algorithm. In *9th Innovative Research Workshop and Exhibition*, INO2010, 7-9 December 2010.

[3] Jin-Kao Hao. Memetic Algorithms in Discrete Optimization. In F. Neri, C. Cotta, P. Moscato (Eds.) *Handbook of Memetic Algorithms*. Studies in Computational Intelligence 379, Chapter 6, pages 73-94, 2012.

[4] M.R. Jardin, A.E. Bryson Jr. Neighboring Optimal Aircraft Guidance in Winds. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 24(4) 710-715, 2001.

[5] E.W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1 :269–271, 1959.