

Optimisation d'un ensemble de routes aériennes pour minimiser l'impact environnemental des traînées de condensation

Céline Demouge¹, Marcel Mongeau¹, Nicolas Couellan^{1,2}

¹ Ecole Nationale de l'Aviation Civile, Université de Toulouse, France
{celine.demouge,marcel.mongeau,nicolas.couellan}@enac.fr

² Institut de Mathématiques de Toulouse, UMR 5219, Université de Toulouse, CNRS, UPS, France

Mots-clés : *transport aérien, plus courts chemins, contraintes de capacité, traînées de condensation, impact environnemental.*

1 Introduction

Le transport aérien est responsable d'une partie du forçage radiatif due à l'activité humaine notamment à cause du CO_2 . Cependant, sa particularité est d'occasionner des effets causant de l'effet de serre autres que le CO_2 comme par exemple les traînées de condensation, qui une fois transformées en nuages, empêchent la Terre de se refroidir la nuit. Ces effets doivent donc être réduits tout en maintenant la sécurité des vols. Ainsi, le problème présenté est celui de diriger les flux aériens à l'échelle d'un espace aérien, ici la France par exemple, tout en minimisant l'impact global du trafic. Ici, seules les traînées de condensation sont prises en compte en tant qu'effet non- CO_2 , mais d'autres effets peuvent aussi être considérés.

2 Description du problème

Le problème d'optimisation se définit comme suit.

— **Variables de décision**

- Choix d'une trajectoire *sur un graphe donné*, pour chaque avion
- En 2D, en 3D
- En prenant en compte le temps (2D+1 ou 3D+1) : les contraintes et les coûts sont dépendants du temps

— **Fonction-objectif**

- Coût environnemental total de toutes les trajectoires volées
- Le coût de chaque trajectoire est la somme des effets CO_2 et non- CO_2

— **Contraintes**

- Le nombre d'avions passant par un secteur à un moment donné est borné

— **Données**

- L'espace aérien est connu : le graphe et le découpage de ce graphe en secteurs
- Les données permettant le calcul des coûts environnementaux sont connues

3 Approche de résolution par le problème de multiples plus courts chemins avec des contraintes de capacité sur des sous-graphes

Le problème peut être modélisé comme un problème de multiples plus courts chemins avec des *contraintes de capacité sur un sous-graphe*, dans le cas statique. La prise en compte des aspects temporels (coûts et contraintes) peut également être directement modélisée sous la même

forme en discrétisant le modèle statique. Cependant, la combinatoire devient alors grande et le problème difficile, ce qui motive l'utilisation d'une approche heuristique de fenêtre de temps glissante. Cette approche permet également une bonne prise en compte des problématiques opérationnelles sur la définition dynamiques de la capacité des secteurs et les difficultés de prédiction en temps réel des traînées de condensation.

4 Approche de résolution par analogie avec le problème ATFM et génération de colonnes

Le problème a également des liens avec le problème *Air Traffic Flow Management* (ATFM) initialement présenté dans [3]. Il a été traité de multiples manières avec prise en compte ou non de possibilités de contrôler la route des avions à gros grains (enchaînements de secteurs aériens) ou plus précisément en contrôlant les routes par lesquelles ils passent. La littérature présente des méthodes basées sur un prétraitement efficace suivi d'optimisation linéaire [1], sur des méta-heuristiques [4] ou une résolution basée sur la génération de colonnes [2]. Ici, nous modélisons le problème sous la forme d'un problème de génération de colonnes par analogie avec l'ATFM. Cette approche permet la prise en compte de contraintes opérationnelles mettant en jeu l'altitude comme variable de décision. De plus, la considération des aspects temporels est facilitée.

5 Conclusion et perspectives

La recherche de trajectoires minimisant l'impact environnemental global du trafic aérien tout en maintenant les standards de sécurité est un problème important qui se pose dans le contexte actuel de prise de conscience des impacts de l'activité humaine sur le climat. Cette étude détaille un modèle générique d'optimisation qui prend en compte les différents impacts des vols dans un espace aérien donné. Un premier modèle en 2D est introduit en définissant un problème de multiples plus courts chemins avec des contraintes de capacité sur des sous-graphes. Une approche prenant en compte le temps et l'altitude dans le cadre de génération de colonnes est développée. Cette dernière approche doit encore être testée pour évaluer son efficacité.

Références

- [1] A. Agustin, A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, and C. Pizarro. On air traffic flow management with rerouting. Part I : Deterministic case. *European Journal of Operational Research*, 219(1) :156–166, 2012.
- [2] H. Balakrishnan and B. Chandran. A distributed framework for traffic flow management in the presence of unmanned aircraft. *ATM Seminar*, 2017.
- [3] D. Bertsimas and S. S. Patterson. The air traffic flow management problem with enroute capacities. *Operations Research*, 46(3) :406–422, 1998.
- [4] V. Dal Sasso, F. D. Fomeni, G. Lulli, and K. G. Zografos. Planning efficient 4D trajectories in air traffic flow management. *European Journal of Operational Research*, 276(2) :676–687, 2019.