

Optimisation de croisière sous incertitude de contrôle aérien

ROADEF, congrès annuel

Clément Bouttier^{2,3,4}, Sébastien Gadat¹, Sébastien Gerchinovitz², Florence Nicol³

¹ TSE, Toulouse School of Economics
21, allée de Brienne 31015 Toulouse Cedex 6, France
`sebastien.gadat@tse-fr.eu`

² IMT, Institut de mathématiques de Toulouse université Toulouse III Paul Sabatier
118 route de Narbonne 31062 Toulouse Cedex 9, France
`sebastien.gerchinovitz@math.univ-toulouse.fr`

³ ENAC, École nationale de l'aviation civile
7 avenue Édouard Belin 31055 Toulouse Cedex 4, France
`nicol@recherche.enac.fr`

⁴ AIRBUS Opérations SAS
316 route de Bayonne 31060 Toulouse Cedex 9, France
`clement.bouttier@airbus.com`

Mots-clés : *recherche opérationnelle, optimisation stochastique, trajectoire d'avion, modèle de performance avion*

1 Contexte

Dans le cadre d'une thèse CIFRE AIRBUS co-encadrée par l'ENAC et l'IMT, nous avons développé une méthodologie d'optimisation de trajectoires avion sous incertitude de contrôle aérien. L'optimisation considérée vise à minimiser la consommation de carburant moyenne d'une flotte d'avions à longue portée.

Les compagnies aériennes utilisent actuellement des méthodes d'optimisation qui ne prennent pas directement en compte les incertitudes liées aux opérations de contrôle du trafic aérien [1]. Ces opérations conduisent pourtant à des modifications des trajectoires et impactent la consommation. Ceci nous conduit à remettre en cause le paradigme actuel selon lequel la consommation minimale de l'ensemble de la flotte est obtenue lorsque chacun des avions cherche à voler sa trajectoire de consommation minimale sans tenir compte de l'intensité du trafic.

Nous proposons donc d'intégrer ce risque de déroutement à la procédure d'optimisation des trajectoires d'avion en modélisant la congestion du trafic sous la forme d'une probabilité d'intervention du contrôle aérien. Nous avons mené une étude mettant en évidence la sous optimalité des trajectoires ainsi obtenues pour des contextes de trafic hautement congestionné.

2 Problème d'optimisation

La trajectoire d'un avion est très contrainte. L'ensemble des altitudes auxquelles il est autorisé à voler est quantifié et borné (h_{min} , h_{max}) et les temps de transfert entre altitudes autorisées sont restreints. Par ailleurs, le choix de la vitesse de l'avion est en grande partie dicté par son design. Le problème d'optimisation de trajectoire peut se ramener à un problème de choix d'un vecteur de positions de changement d'altitude, notées x , et d'altitudes associées, notées h . Chaque changement d'altitude fait l'objet d'une négociation avec le contrôleur aérien, et introduit donc un aléa, noté ATC , auquel est soumise la trajectoire de l'avion. La dynamique de l'avion et l'évaluation des performances d'une trajectoire, en terme de sa

consommation F , sont obtenues par simulation. Nous avons utilisé deux codes de calcul pour valider nos résultats. Le premier utilise le cadre fourni par Eurocontrol via la base de données BADA 3 et le second est généré par le département performance avion d’AIRBUS. Notre problème se formalise alors comme un problème d’optimisation stochastique sous contraintes :

$$\begin{aligned} (x^*, h^*) = & \underset{x, h}{\operatorname{argmin}} \mathbb{E}_{ATC} [F(x, h, ATC)] \\ \text{s.t. } \forall i \in \{1, \dots, n\} & \quad 0 \leq x_{i-1} \leq x_i \leq x_n = R \\ & \quad h_{min} \leq h_i \leq h_{max} \end{aligned} \quad (1)$$

Nous comparons des trajectoires qui relient les deux mêmes points, lesquels sont séparés par une distance au sol de longueur R .

Pour modéliser l’incertitude due au contrôle aérien (ATC), nous avons fait le choix d’une modélisation de Bernoulli du processus de négociation avec le contrôle aérien. On suppose pour simplifier que le contrôleur accepte avec une probabilité p constante sur l’ensemble de la mission les demandes de changement d’altitude, et que ses décisions sont indépendantes d’une fois sur l’autre. En cas de refus, l’avion poursuit sa trajectoire sans changer d’altitude et réitère sa demande jusqu’à l’acceptation. La fréquence des demandes correspond à la distance moyenne entre deux centres de contrôle. On ne considère donc pas de modification de la trajectoire cible en cours de mission (mise à part celle due à l’action du contrôle aérien). Un des objectifs de la thèse est de proposer une méthode d’estimation de la probabilité p d’acceptation de changement de niveau. Pour l’instant, nous avons étudié le problème d’optimisation en fonction de p .

3 Méthode d’optimisation et résultats

Afin de résoudre numériquement le problème, nous avons mis en place un algorithme de type descente de gradient stochastique [2] qui nous a permis de mettre en évidence des gains potentiels de carburant par rapport à l’optimisation en environnement déterministe. Ces gains ne sont cependant significatifs que dans le cadre d’un espace aérien très congestionné (faible probabilité d’acceptation de changement de niveau). Conformément à l’intuition, on observe le même type de tendance lorsque la fréquence des communications avec le contrôle diminue. Cependant, cet algorithme pose problème lorsque l’on enrichit la modélisation de la dynamique de l’avion et nous envisageons de le reformuler en terme de contrôle optimal stochastique.

4 Conclusion et perspectives

Les gains observés lors des simulations utilisant le modèle Eurocontrol sont suffisamment conséquents pour nous pousser à raffiner le modèle de dynamique avion et le domaine d’optimisation (une trajectoire ne sera plus fixée *a priori*, mais pourra être calculée séquentiellement via un système embarqué). Ce point de vue contrôle optimal stochastique a cependant un prix numérique et statistique que nous essaierons d’étudier. Par ailleurs, nous envisageons d’étendre notre étude à des configurations de négociation plus réalistes en considérant des probabilités d’acceptation de changement de niveau non uniformes sur la mission ainsi que des incertitudes sur l’état de l’avion et de l’atmosphère.

Références

- [1] John T. Betts. Survey of numerical methods for trajectory optimization. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 21(2) :193–207, March 1998.
- [2] Marie Duflo. *Algorithmes stochastiques*, volume 23 of *Mathématiques & Applications (Berlin) [Mathematics & Applications]*. Springer-Verlag, Berlin, 1996.