

Optimisation du profil vertical de trajectoires d'avions

Hasnae Kasmi¹, Serge Laporte¹, Marcel Mongeau², Andrija Vidosavljevic², Daniel Delahaye²

¹ Airbus Operations SAS, Toulouse, France

{hasnae.kasmi, serge.laporte}@airbus.com

² ENAC, Université de Toulouse, France

{mongeau,vidosavljevic,delahaye}@recherche.enac.fr

Mots-clés : *Optimisation de trajectoire d'avions, contrôle optimal, optimisation non-linéaire, niveaux de vol, pénalisation*

1 Contexte

Les nouveaux enjeux environnementaux motivent les acteurs de l'industrie aéronautique à la recherche de méthodes de calcul de trajectoires optimales. En effet, l'aviation civile représente une proportion non négligeable des émissions du CO₂ : selon plusieurs études internationales la part du secteur aéronautique dans les émissions de CO₂ est de 2%, et représente 13% des émissions des activités de transport au niveau mondial. De plus, l'aviation est responsable d'environ 8% du forçage radiatif terrestre principalement à cause des traînées de condensation émises par les réacteurs. L'Association Internationale du Transport Aérien (AITA) indique que le taux d'augmentation de ces émissions est lié à l'accroissement du volume du trafic aérien et des services d'aviation.

Ces problèmes environnementaux sont traités dans deux grands programmes en cours d'élaboration : SESAR en Europe et NextGen en Amérique du Nord [1, 3]. Selon ces deux programmes, de nouveaux systèmes avioniques seront en mesure de prendre en charge les opérations basées sur les trajectoires et permettront aux compagnies aériennes de définir, partager, réviser, négocier et mettre à jour la trajectoire de l'avion avant et pendant le vol, dans certains cas presque en temps réel.

Dans ce contexte, nous développons une méthode de planification de mission basée sur les techniques de contrôle optimal dans laquelle nous optimisons le profil vertical de la trajectoire en vue de minimiser la consommation de carburant. Cette approche nous conduit non seulement à des économies de carburant, mais aussi à des améliorations environnementales importantes à travers la réduction des émissions du CO₂. A la différence des nombreux travaux déjà publiés sur ce sujet, notre étude considère le profil de la trajectoire d'un point de vue global et non pas comme une succession de *phases* distinctes (montée, croisière et descente).

2 Modélisation et résolution

Le problème de l'optimisation de trajectoire est traditionnellement découpé en une succession de sous-problèmes traitant séparément chaque phase de vol : décollage, montée, croisière, descente, approche et atterrissage. Cette décomposition est historiquement justifiée par la nature des contraintes opérationnelles et la dynamique du système qui changent d'une phase à une autre.

Certaines approches [2, 4] modélisent ce problème d'optimisation sous la forme d'un problème *multiphase*, gérant la jonction entre les phases par des approches d'optimisation non linéaire mixte en nombres entiers (MINLP). Toutefois, ces problèmes sont de grande taille avec une complexité algorithmique élevée déterminante.

Dans cette étude, nous évitons cet écueil en proposant une formulation unifiée qui décrit la dynamique de l'avion par un seul ensemble d'équations communes à toutes les phases (montée, croisière et descente). Un même vecteur de contrôle est considéré pour l'intégralité de la mission. Les différentes phases de vol et les niveaux de vol ne sont pas donc introduits a priori : ils émergent dans la solution grâce à des contraintes et/ou une pénalisation du coût qui représentent les besoins opérationnels. La difficulté initiale induite par l'approche MINLP se transforme alors à une difficulté liée à la prise en compte de contraintes disjonctives ou à la nature fortement non convexe de notre nouvelle formulation.

La première contribution de cette étude est l'introduction d'un système dynamique unique pour l'ensemble de la trajectoire d'avion, évitant l'introduction de variables binaires pour activer le modèle dynamique approprié à chaque phase. Une deuxième contribution est la proposition d'une approche de pénalisation adaptée à la planification des vols commerciaux, en particulier dans la phase de croisière où les avions sont pilotés à des altitudes constantes (*niveaux de vol*) pour être séparés en toute sécurité.

3 Conclusion et perspectives

Le problème d'optimisation de la mission ainsi formulé sous la forme d'un problème de contrôle optimal est transcrit par une technique classique de collocation directe et résolu par une méthode de points intérieurs (logiciel IPOPT). Nos résultats préliminaires conduisent à une réduction non négligeable de la consommation du carburant et à l'apparition «naturelle» des niveaux de vol dans la solution.

Références

- [1] Nextgen implementation plan. Federal Aviation Administration, Washington DC, USA.
- [2] John T. Betts and Evin J. Cramer. Application of direct transcription to commercial aircraft trajectory optimization. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 18(1) :151–159, 1995.
- [3] Patrick Ky and Bernard Miaillier. SESAR : Towards the new generation of air traffic management systems in Europe. *The Journal of Air Traffic Control*, 48, 2006.
- [4] Manuel Soler, Alberto Olivares, and Ernesto Staffetti. Framework for aircraft trajectory planning toward an efficient air traffic management. *Journal of Aircraft*, 49 :341–348, 2012.