



HAL
open science

Modélisation et prise en compte de l'incertitude des conflits aériens dans la régulation de vitesse

David Rey, Christophe Rapine, Rémy Fondacci

► **To cite this version:**

David Rey, Christophe Rapine, Rémy Fondacci. Modélisation et prise en compte de l'incertitude des conflits aériens dans la régulation de vitesse. 12ème congrès annuel de la société française de recherche opérationnelle et d'aide à la décision, Mar 2011, Saint-Etienne, France. hal-00654224

HAL Id: hal-00654224

<https://hal.science/hal-00654224>

Submitted on 21 Dec 2011

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.

Modélisation et prise en compte de l'incertitude des conflits aériens dans la régulation de vitesse

David Rey¹, Christophe Rapine², Rémy Fondacci¹

¹ Université de Lyon F-69622, Lyon, France
LICIT, INRETS, ENTPE F-69675 Bron, France
{david.rey, remy.fondacci}@inrets.fr

² Laboratory G-SCOP
46 avenue Felix Viallet, Grenoble F-38031, France
christophe.rapine@g-scop.fr

Mots-clés : *trafic aérien, régulation de vitesse, incertitude, programmation mathématique*

1 Introduction

Dans cette communication nous abordons le problème de la régulation de vitesse des aéronefs sous la forme d'un problème d'optimisation avec le souci de prendre en compte l'incertitude liée aux conflits aériens. Ces travaux s'inscrivent dans la continuité de ceux présentés par Constans *et al.* [2] et Rey *et al.* [4]. Un conflit aérien est une situation où deux avions sont trop proches l'un de l'autre, violant ainsi les normes de séparation. La régulation de vitesse consiste à agir sur la vitesse des aéronefs pour anticiper les conflits aériens et en diminuer la quantité. La régulation de vitesse des aéronefs a été présentée comme une méthode de déconfliction dans le projet ERASMUS (*En-Route Air traffic Soft Management Ultimate System*) et analysée par Averty *et al.* [3]. Ils ont montré que cette méthode possédait un réel potentiel pour minimiser la quantité de conflits aériens. L'objectif de cette méthode est de présenter un trafic amélioré aux contrôleurs aériens en optimisant automatiquement les trajectoires des aéronefs en amont du processus de contrôle. L'automatisation partielle du système de contrôle du trafic aérien est devenue une nécessité pour faire face à l'augmentation régulière de la densité du trafic aérien européen. Néanmoins l'aspect hautement cognitif du travail des contrôleurs soulève le doute sur la nature des conflits à résoudre en priorité. En particulier, l'incertitude sur la prévision des trajectoires des vols, intrinsèque au système de contrôle du trafic aérien actuel, peut grandement affecter la charge de travail des contrôleurs. En prenant en compte l'incertitude liée à la réalisation des conflits, cette recherche vise à apporter des éléments de réponse à cette problématique. Nous discutons également de la mise en oeuvre pratique des consignes de régulation de vitesse et présentons les résultats obtenus.

2 Modélisation de l'incertitude des conflits

Le travail des contrôleurs aériens peut se résumer à une séquence de prises de décisions. Certaines décisions sont difficiles à prendre en raison de l'incertitude qui peut régner sur l'issue d'une situation complexe. A contrario, les événements certains conduisent à des prises de décisions rapides et par conséquent allègent la charge de travail des contrôleurs. L'incertitude en prévision de trajectoire peut avoir une influence sur la détection des conflits effectuée par le contrôleur aérien. Il est notamment possible que l'incertitude sur les positions futures de deux vols soit telle que le contrôleur ne puisse statuer sur l'existence d'un conflit potentiel. Un tel scénario peut monopoliser l'attention du contrôleur pendant un temps relativement long et ainsi limiter sa capacité à gérer un grand nombre

de vols simultanément. Ainsi notre objectif est de privilégier la résolution des conflits les plus *incertains*. Pour cela, nous proposons de modéliser l’incertitude des conflits potentiels en nous basant sur leur probabilité de réalisation. Si cette probabilité est proche de 0 ou 1, alors l’existence ou la non-existence d’un conflit sera considérée comme quasi-certaine et le coût associé au conflit sera diminué. Sinon le coût du conflit sera augmenté, modélisant ainsi le temps de surveillance requis par la situation. Plusieurs distributions de probabilités sont possibles et sont envisagées [1].

3 Emissions des consignes de régulation de vitesse

Le processus de régulation de vitesse des aéronefs est ici envisagé de manière centralisée et requiert ainsi une communication efficace entre les centres de contrôles et les aéronefs. Nous faisons l’hypothèse que les moyens technologiques embarqués et au sol permettent une communication directe entre le *Flight Management System* (FMS) des aéronefs et les centres de contrôles. La mise en oeuvre des consignes de régulation de vitesse fait intervenir de nombreux aspects du contrôle et de la circulation aérienne. Afin de développer un outil adapté au trafic aérien, certaines contraintes sont à respecter. Par exemple, l’usage d’un modèle mathématique entraînant des variations de vitesse de type “dents de scie” ne semble pas compatible avec un bon fonctionnement des moteurs des aéronefs. Les consignes doivent être également adaptées aux performances des aéronefs et leur temps d’exécution, doit être pris en compte. Par ailleurs il est important de maîtriser le retard global à l’arrivée que pourrait induire la régulation de vitesse et pour cela il nous faut borner les dérives temporelles des vols par rapport à leur plan de vol. Enfin, afin de ne pas nuire au confort de l’équipage et des passagers, la fréquence et l’amplitude des modulations en vitesse doivent rester dans des limites acceptables. Nous souhaitons limiter le nombre de changements de vitesse par vol. Une approche réaliste consiste à le faire pour une tranche horaire donnée : ainsi un vol f ne peut subir plus de n changements de vitesse sur une période de temps T .

4 Tests et simulations

Dans cette partie, des tests sont réalisés pour paramétrer le modèle probabiliste et des simulations intégrant les contraintes sur l’émissions des consignes de régulation sont ensuite conduites sur le simulateur de trafic aérien du LICIT (Laboratoire Ingénierie Circulation Transports) permettant de rejouer une journée réelle de trafic au dessus de l’Europe. Des premiers résultats sont présentés et comparés aux résultats obtenus avec le modèle initial développé dans [4].

Références

- [1] Sophie Constans, Nour-Eddin El Faouzi, Olivier Goldschmidt, and Rémy Fondacci. Optimal flight level assignment : introducing uncertainty. In *Third Eurocontrol innovative research workshop, Brétigny-sur-Orge, France, 2004*.
- [2] Sophie Constans, Bastian Fontaine, and Rémy Fondacci. Minimizing potential conflicts with speed control. In *International Conference on Research in Air Traffic Transportation, ICRAT 2006, Belgrade, Serbia and Montenegro, 2006*.
- [3] Fabrice Drogoul, Philippe Averty, and Rosa Weber. ERASMUS strategic deconfliction to benefit SESAR. In *Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Napa, USA, 2009*.
- [4] David Rey, Sophie Constans, Rémy Fondacci, and Christophe Rapine. A mixed integer linear model for potential conflict minimization by speed modulations. In *Fourth International Conference on Research in Air Transportation, ICRAT 2010, Budapest, Hungary, 2010*.