



Allocation de créneaux de décollage sans conflit

Cyril Allignol, Nicolas Barnier, Nicolas Durand

► **To cite this version:**

Cyril Allignol, Nicolas Barnier, Nicolas Durand. Allocation de créneaux de décollage sans conflit. ROADEF 2011, 12ème congrès annuel de la Société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Mar 2011, St-Etienne, France. hal-00934796

HAL Id: hal-00934796

<https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-00934796>

Submitted on 1 Apr 2014

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.

Allocation de créneaux de décollage sans conflit

Cyril Allignol¹, Nicolas Barnier², Nicolas Durand¹

¹ DSNA/DTI; 7 Av. Édouard Belin, F-31055 Toulouse, France
{allignol,durand}@tls.cena.fr

² École Nationale de l'Aviation Civile; 7 Av. Édouard Belin, F-31055 Toulouse, France
barnier@recherche.enac.fr

Mots-clés : *Créneau de décollage, Résolution de conflit, Programmation par contraintes, Algorithme évolutionnaire*

1 Introduction

Le programme de recherche SESAR (*Single European Sky ATM Research*) prévoit que les systèmes actuels de contrôle du trafic aérien seront bientôt saturés par le nombre croissant de vols quotidiens.

Les performances du système de contrôle du trafic en Europe sont limitées par les contraintes horaires de capacité définies pour chaque secteur de contrôle afin de limiter le taux d'avions entrant. Actuellement, la CFMU (*Central Flow Management Unit*) est chargée d'allouer des créneaux de décollage (qui doivent être respectés avec une marge de $-5/+10$ minutes) afin de respecter ces limites de capacité. De nombreux travaux ont été effectués afin d'optimiser l'algorithme utilisé par la CFMU [3]. Cependant, ces approches ne s'intéressent pas à la résolution de conflits, mais seulement au respect des limites de capacités des secteurs, peu représentatives de la complexité du trafic et de la charge de travail du contrôleur.

Dans un contexte de trajectoires 4D, la résolution de conflits longtemps à l'avance devient possible. Nous proposons de résoudre directement les conflits potentiels entre les différents vols par une modification des heures de décollage. Un retard unique est associé à chaque vol, de manière à ce que tous les conflits potentiels soient évités. Cette modélisation génère plus de contraintes que le modèle macroscopique, mais elle garantit des trajectoires sans conflit tout au long du vol, sous l'hypothèse que les avions puissent suivre une route en quatre dimensions de manière suffisamment précise.

2 Modélisation

Les données d'entrée de notre problème sont fournies par le simulateur de trafic CATS (Complete Air Traffic Simulator) [1]. Celui-ci construit des trajectoires 4D discrétisées pour une journée de trafic donnée à partir des plans de vol enregistrés pour l'espace aérien français. Les trajectoires sont testées deux à deux pour détecter les conflits potentiels, en prenant en compte le retard maximal autorisé.

Deux approches sont comparées pour la résolution de ce problème de résolution de conflits. La première approche consiste à modéliser le problème sous forme de problème de satisfaction de contraintes (CSP) qui peut être résolu à l'aide d'un système de programmation par contraintes (PPC). Les variables de décision du modèle sont les retards associés aux vols et les contraintes sont directement issues de la détection des conflits potentiels. Elles sont exprimées à l'aide de variables auxiliaires qui permettent une meilleure propagation des contraintes lors de la recherche. Le coût utilisé pour l'optimisation est le maximum des retards alloués pour obtenir des preuves de faisabilité.

La somme des retards est également un critère important pour évaluer la qualité d'une solution. Notre stratégie de recherche a notamment pour objectif de la réduire le plus possible afin d'obtenir des solutions réalisables d'un point de vue opérationnel. Une extension temporelle des conflits permet en outre de prendre en compte des incertitudes sur les heures réelles de décollage.

La seconde approche utilise les principes classiques des algorithmes évolutionnaires [4]. La séparabilité partielle du problème permet de définir des opérateurs de croisement et de mutation efficace. Le critère d'optimisation choisi pour cette approche est la somme des retards sur l'ensemble des vols.

Afin de limiter la taille du problème et d'être réactif vis-à-vis des incertitudes, la journée de trafic n'est pas traitée d'un bloc, mais à l'aide d'un mécanisme de fenêtre glissante. Seuls les vols dont le décollage est prévu dans les T_w prochaines minutes sont pris en compte. T_w est la taille de la fenêtre glissante. La situation est reconsidérée toutes les δ minutes, avec $\delta \ll T_w$.

3 Résultats et perspectives

Ces modèles ont été implantés en CaML, en utilisant la librairie FaCiLe [2] pour le modèle en contraintes. Les résultats présentés ont été obtenus sur différentes journées de trafic de l'année 2008, sur un processeur Intel Xeon cadencé à 2,66GHz. Les conflits sont résolus uniquement au dessus du niveau de vol 290 (soit 29 000 pieds), ce qui correspond à la phase de croisière. Les instances les plus grandes comptent près de 10 000 vols pour plus de 600 000 paires de trajectoires en conflit.

L'approche en PPC permet la résolution de tous les conflits en retardant moins d'un quart des vols. Le retard moyen observé est inférieur à 4 minutes, et le retard maximal est inférieur à 90 minutes pour la plupart des instances (certaines instances nécessitent un retard maximal proche de 200 minutes). Les temps de calcul sont compris entre quelques secondes pour les instances les plus faciles et environ 1 minute pour les instances les plus difficiles.

L'approche évolutionnaire permet la résolution de tous les conflits en retardant moins d'un cinquième des vols. Cependant, le retard moyen varie entre 7 et 15 minutes en fonction de la taille T_w de la fenêtre glissante. Le temps de calcul est très élevé par rapport à l'approche PPC. Celui-ci augmente avec T_w pour les deux approches.

Les résolutions réalisées en prenant en compte des incertitudes mènent rapidement, pour les deux approches envisagées, à des solutions dont le coût est prohibitif.

Nous envisageons de remédier à ces problèmes en combinant notre méthode avec une phase préalable d'allocation de niveaux de vol, ou bien en effectuant une allocation simultanée de niveau de vol et d'heure de décollage.

Références

- [1] Jean-Marc Alliot, Jean-François Bosc, Nicolas Durand, and Lionnel Maugis. CATS : A Complete Air Traffic Simulator. In *16th DASC*, 1997.
- [2] Nicolas Barnier and Pascal Brisset. FaCiLe : a Functional Constraint Library. In *CI-CLOPS'01 (Workshop of CP'01)*, Paphos, Cyprus, December 2001.
- [3] M. Dalichampt, E. Petit, U. Junker, and J. Lebreton. Innovative slot allocation (ISA). Technical report, Eurocontrol, 1997.
- [4] D.E Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading MA Addison Wesley, 1989.