



## Planification coopérative de trajectoires d'avions

Romaric Breil, Daniel Delahaye, Eric Féron, Laurent Lapasset

### ► To cite this version:

Romaric Breil, Daniel Delahaye, Eric Féron, Laurent Lapasset. Planification coopérative de trajectoires d'avions. ROADEF 2015, 16<sup>ème</sup> conférence ROADEF, Feb 2015, Marseille, France. <hal-01134556>

**HAL Id: hal-01134556**

**<https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-01134556>**

Submitted on 23 Mar 2015

**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.

# Planification coopérative de trajectoires d'avions

Romarc Breil<sup>1,2</sup>, Daniel Delahaye<sup>1</sup>, Éric Féron<sup>1</sup>, Laurent Lapasset<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire MAIAA, ÉNAC  
7 avenue Édouard-Belin CS 54005  
31055 Toulouse CEDEX 4, France

<sup>2</sup> Capgemini TS  
109 avenue Eisenhower BP 53655  
31036 Toulouse Cedex 1, France

**Mots-clés** : *trafic aérien, système multi-agents, planification coopérative*

## 1 Introduction

Le trafic aérien est actuellement régulé par les contrôleurs, qui en assurent la fluidité. Dans le contexte actuel de croissance constante du trafic aérien, il est prévu que ces capacités de régulation arrivent à saturation. Certains travaux de recherche actuels dans ce domaine visent à réduire la charge de travail des contrôleurs aériens en automatisant certaines tâches de décisions.

Grâce à l'ADS<sup>1</sup>, les avions peuvent communiquer la trajectoire qu'ils prévoient d'emprunter (et ses éventuelles modifications) durant toute la durée du vol. En recevant ces informations, émises par leurs voisins, ils connaissent l'état local du trafic. L'ADS ouvre donc la porte au développement de méthodes permettant aux avions d'adapter leurs trajectoires pour respecter les distances de sécurité, tâche jusque-là dévolue aux seuls contrôleurs aériens.

La plupart des méthodes développées pour automatiser la gestion du trafic sont centralisées, et cherchent à optimiser le trafic dans son ensemble. Or, celles-ci s'adaptent difficilement à des événements imprévus (résilience aux perturbations). L'approche décentralisée offre plusieurs avantages, notamment la répartition des calculs et des décisions entre les entités composant le système, et une meilleure résilience. Nous avons utilisé cette dernière approche en développant un système multi-agents pour réguler le trafic aérien.

## 2 Évitement de conflits aériens par régulation de vitesse

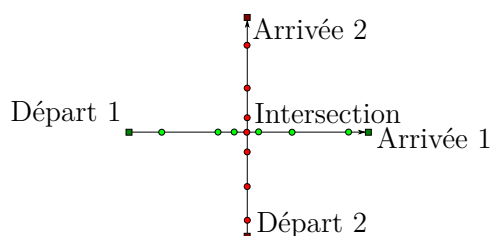


FIG. 1 – Régulation de la vitesse des avions organisés en flux se croisant.

Nous nous sommes donc intéressés à la régulation du trafic aérien par système multi-agents. Les premiers travaux ont porté sur la régulation de flux d'avions au croisement de deux routes aériennes, uniquement par régulation de la vitesse des avions, sans changer de chemin (voir figure 1). Cet algorithme est basé sur les travaux de Mao *et al.* [1].

---

1. Automatic dependent surveillance.

Dans ce système multi-agents, les avions s'échangent des messages contenant les trajectoires qu'ils ont planifiées (3D + temps). En utilisant ces informations, ils modifient leur vitesse de manière à éviter les conflits<sup>2</sup>. Une fois que la nouvelle trajectoire est calculée, un message est envoyé. Le processus recommence de manière itérative.

L'approche utilisée est similaire à celle développée par le projet ERASMUS [2], qui a pour but de réduire la charge de travail des contrôleurs. Pour ce faire, ce système détecte les conflits, et en résout une partie en demandant automatiquement aux avions impliqués de modifier faiblement leur vitesse<sup>3</sup>. Malgré ces similitudes, ERASMUS repose sur un algorithme centralisé, avec toutes les limitations évoquées précédemment.

### 3 Organisation locale de réseau de routes

L'algorithme précédent a été conçu pour réguler le trafic organisé en flux d'avions évoluant sur un réseau de routes. Cette organisation est adaptée au contrôle par des moyens humains : il est plus facile de surveiller, et donc de contrôler des avions évoluant sur un réseau de routes. Mais elle est sous-optimale du point de vue de la consommation de carburant : les distances parcourues sont plus grandes que des trajectoires directes entre le départ et l'arrivée.

Une approche pour tenter de réconcilier ces deux objectifs consiste à structurer le trafic *à la demande*. L'idée est de laisser les avions suivre leur trajectoire optimale quand la complexité du trafic est faible, et de créer à la volée un réseau de route pour structurer le trafic quand la complexité augmente localement, de manière à diminuer la charge de travail des contrôleurs dans ces zones.

Pour cela, plusieurs étapes sont nécessaires. D'abord, le système calcule une carte de complexité, de manière à détecter les zones à réguler. Une fois ces zones établies, il agrège les trajectoires pour former des flux d'avions évoluant sur des routes (voir figure 2). La topologie de routes est optimisée pour répondre au besoin ponctuel de chaque situation de trafic.

Quand le trafic est structuré, celui-ci peut être contrôlé soit par l'algorithme de régulation évoqué section 2, soit par des contrôleurs aériens.

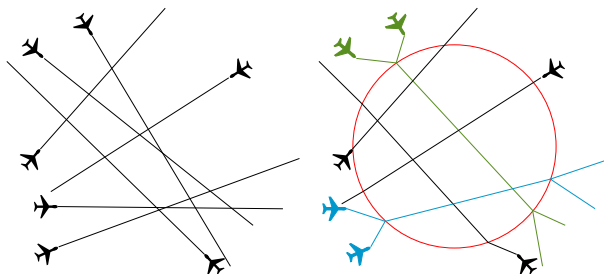


FIG. 2 – Structuration locale du trafic en réseau de routes (à gauche : trafic non structuré ; à droite : trafic structuré, le cercle englobe le pic local de complexité).

## Références

- [1] Zhi-Hong MAO et al. "Stability of intersecting aircraft flows using heading-change maneuvers for conflict avoidance". In : *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 6.4 (5 déc. 2005), p. 357–369. ISSN : 1524-9050. DOI : 10.1109/TITS.2005.858789.
- [2] Jacques VILLIERS. *Automatisation du contrôle de la circulation aérienne : "ERASMUS", une voie conviviale pour franchir le mur de la capacité*. T. 58. Études & documents / ITA. ITA, 2004. 60 p.

2. Deux avions s'approchant à moins de 5 NM horizontalement et 1 000 ft verticalement sont en conflit.

3. Ces variations de vitesse, dites « subliminales », se situant entre  $-6\%$  et  $+3\%$  de la vitesse optimale de l'avion, le contrôleur ne s'en rend même pas compte.