



# Système multi-agents pour la structuration du trafic aérien

Romarc Breil, Daniel Delahaye, Eric Féron, Laurent Lapasset

## ► To cite this version:

Romarc Breil, Daniel Delahaye, Eric Féron, Laurent Lapasset. Système multi-agents pour la structuration du trafic aérien. ROADEF 2016 17ème congrès annuel de la société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Feb 2016, Compiègne, France. <hal-01285238>

**HAL Id: hal-01285238**

**<https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-01285238>**

Submitted on 8 Mar 2016

**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.

# Système multi-agents pour la structuration du trafic aérien

Romaric 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 (Automatic Dependent Surveillance), 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. L'approche décentralisée offre plusieurs avantages, dont une meilleure résilience aux perturbations, ainsi que la répartition des calculs et des décisions entre les entités composant le système. Nous avons utilisé cette dernière approche et nous avons développé un système multi-agents pour réguler le trafic aérien.

## 2 Évitement de conflits aériens par régulation de vitesse

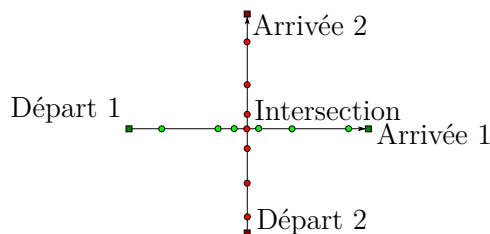


FIG. 1 – Régulation de la vitesse des avions organisés en flux se croisant.

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].

L'approche utilisée est similaire à celle développée par le projet ERASMUS [3], qui a pour but de réduire la charge de travail des contrôleurs. Pour ce faire, ce système détecte les conflits (avions s'approchant à moins de 5 NM horizontalement et 1 000 ft verticalement), et en résout une partie en demandant aux avions impliqués d'appliquer de faibles changements de vitesse, qui ne sont pas perceptibles par les contrôleurs.

Dans le système multi-agents que nous avons développé, les avions s'échangent régulièrement des messages contenant les trajectoires qu'ils ont planifiées (3D + temps). En utilisant ces informations, ils modifient leur vitesse de manière à respecter les normes de séparation. Le processus recommence de manière itérative. Contrairement à ERASMUS, cet algorithme est décentralisé et peut en théorie être implémenté à bord des avions sans avoir besoin d'équipement au sol.

### 3 Réduction locale de la complexité du trafic

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 que nous avons développée 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), en utilisant une méthode de minimisation de l'entropie liée aux trajectoires [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.

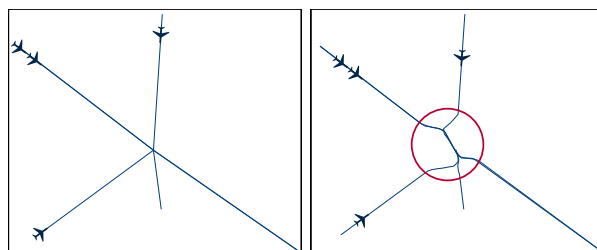


FIG. 2 – Structuration locale du trafic en réseau de routes (à gauche : trafic non structuré ; à droite : trafic structuré, le cercle englobe le pic local de complexité).

### 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.
- [2] Stéphane PUECHMOREL et Florence NICOL. « Entropy minimizing curves with application to automated flight path design ». Juin 2015.
- [3] 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.