



**HAL**  
open science

# Apprentissage d'un modèle d'incertitude de prévision de trajectoire à partir de données aéronautiques réelles

Sarah Degaugue, Kim Gaume, Richard Alligier, Nicolas Durand, David Gianazza, Jean-Baptiste Gotteland, Xavier Olive

## ► To cite this version:

Sarah Degaugue, Kim Gaume, Richard Alligier, Nicolas Durand, David Gianazza, et al.. Apprentissage d'un modèle d'incertitude de prévision de trajectoire à partir de données aéronautiques réelles. ROADEF 2024, Mar 2024, AMIENS, France. hal-04716416

**HAL Id: hal-04716416**

**<https://hal.science/hal-04716416v1>**

Submitted on 1 Oct 2024

**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.

# Apprentissage d'un modèle d'incertitude de prévision de trajectoire à partir de données aéronautiques réelles

Sarah Degaugue<sup>1</sup>, Kim Gaume<sup>2</sup>, Richard Alligier<sup>1</sup>, David Gianazza<sup>1</sup>,  
Nicolas Durand<sup>1</sup>, Jean-Baptiste Gotteland<sup>1</sup>, Xavier Olive<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ENAC Toulouse, France

{sarah.degaugue, richard.alligier, david.gianazza, nicolas.durand,  
jean-baptiste.gotteland}@enac.fr

<sup>2</sup> ONERA Toulouse, France

{kim.gaume, xavier.olive}@onera.fr

**Mots-clés** : *recherche opérationnelle, optimisation, métaheuristiques, apprentissage.*

## 1 Introduction

La mission des contrôleurs aériens est d'assurer la fluidité et la sécurité du trafic au sein de leur secteur de contrôle. À tout moment, ils assurent une séparation minimale de 1000 pieds verticalement ou 5 milles nautiques horizontalement entre chaque paire d'avions. Si le contrôleur anticipe une perte de séparation, il peut ordonner des manœuvres telles que des changements de caps, de niveau de vol ou de vitesse. Dans cette étude, nous souhaitons calibrer un modèle de prévision de trajectoire dans le plan horizontal à partir de résolutions de conflits (en cap).

Le modèle d'incertitude adopté par HIPS (Highly Interactive Problem Solver) [1, 2] et publié par ARC2000 [3] utilise une approche géométrique : les avions sont modélisés par des ellipses dont la taille croît avec le temps dans l'axe de la vitesse, ce qui modélise les incertitudes sur la vitesse des avions. La principale limitation de cette approche géométrique est sa tendance à être trop prudente dans la gestion des incertitudes. Bakker et Blom [4] confrontent sur différents scénarios les résultats du solveur de conflit géométrique avec le modèle probabiliste utilisé par Erzberger.<sup>1</sup> Ils introduisent également un troisième solveur de conflit basé sur une approche du risque de collision. C'est à l'issue de cette étude que Doorn, Bakker et Meckiff [7] mènent des expériences sur l'intégration de l'approche probabiliste du risque de collision dans la détection de conflits de HIPS. Une collecte de retours d'expérience sur la gravité perçue des conflits et les stratégies de contrôle qui en découlent révèle une préférence marquée en faveur de l'approche probabiliste par rapport à l'approche géométrique.

En définitive, le défi de tout solveur de conflit est de détecter tous les conflits potentiels, sans pour autant en inventer.

## 2 Étude préliminaire

Un modèle d'incertitude sur la prédiction de trajectoire est introduit dans un précédent travail [8]. L'apprentissage de ce modèle, basé sur un algorithme évolutionnaire, a été validé sur des données théoriques, les données réelles n'étant pas suffisantes pour permettre une interprétation approfondie. Ce modèle introduit  $n_d$ , une norme de séparation horizontale, visée par les contrôleurs aériens lors de la résolution de conflits. L'algorithme prend en entrée des

---

1. Le modèle probabiliste américain [5] apparu dans les années 1990 prédit la probabilité que la séparation entre deux aéronefs tombe en dessous d'un certain seuil de séparation. Cette probabilité est appelée probabilité de conflit.

trajectoires finales après résolution. Les variables de décision sont alors les suivantes : l'incertitude de vitesse  $\varepsilon_s$ , l'incertitude de temps de réaction du pilote au début de la manœuvre  $\delta_{t_0}$ , l'incertitude de temps de réaction du pilote à la fin de la manœuvre  $\delta_{t_1}$  et l'incertitude de cap pendant la manœuvre  $\varepsilon_\alpha$ .

On définit la fonction  $d_\omega$  qui calcule, sur un scénario résolu  $\omega \in \Omega$ , la distance minimale entre tous les volumes de trajectoires. On souhaite déterminer les paramètres d'incertitude  $(\varepsilon_s, \delta_{t_0}, \delta_{t_1}, \varepsilon_\alpha)$  pour lesquels les  $d_\omega$  sont les plus proches de  $n_d$  NM quand ces incertitudes sont appliquées. La fonction d'évaluation à maximiser peut-être définie comme suit :

$$f : (\varepsilon_s, \delta_{t_0}, \delta_{t_1}, \varepsilon_\alpha) \longrightarrow \frac{|\Omega|}{|\Omega| + \sum_{\omega \in \Omega} (d_\omega(\varepsilon_s, \delta_{t_0}, \delta_{t_1}, \varepsilon_\alpha) - n_d)^2} \quad (1)$$

### 3 Application à des données réelles massives

OpenSky Network [9] nous donne accès à une base de données massive de trafic réel. Une première extraction de données du Centre de Contrôle Aérien de Bordeaux a été réalisée lors d'une étude préliminaire.

Les trajectoires sont échantillonnées chaque seconde et seuls les couples de vols en conflit dans le plan horizontal, le temps de début de manœuvre  $t_0$  et le temps de retour vers destination  $t_1$  de ou des avion(s) manœuvré(s) sont connus. À noter qu'une trajectoire brute peut contenir plusieurs zones de déconflition et peut ne pas suivre un cap constant entre chaque déconflition. Il est donc essentiel, pour se ramener à notre modèle, de réaliser un pré-traitement des données en extrayant des manœuvres qui coïncident à notre structure (des manœuvres définies par  $(t_0, t_1, \alpha)$  et une trajectoire initiale allant d'un point O vers un point D).

Une fois le traitement de ces données effectué, l'objectif est d'apprendre les paramètres d'incertitudes en appliquant le processus utilisé dans [8] sur les scénarios extraits. La quantité de données disponible devrait permettre de tester la validité des résultats obtenus.

## Références

- [1] Dr. C. Meckiff and Dr. P. Gibbs. PHARE : Highly Interactive Problem Solver *Eurocontrol*, November 1994.
- [2] Andy Price and Colin Meckiff. HIPS and its Application to Oceanic Control *1st ATM R&D Seminar*, Saclay, June 1997.
- [3] G. Dean and X. Fron and W. Miller and J.P. Nicolaon. ARC2000 : An Investigation into the Feasibility of Automatic Conflict. *Eurocontrol Experimental Center*, 1995.
- [4] G.J. Bakker and H.A.P. Blom. WP1 : Comparative analysis of probabilistic conflict prediction approaches in ATM. *NLR Contract Report*, 2000.
- [5] H. Erzberger. Conflict Probing and Resolution in the presence of Errors. Proceedings of the 1st USA/Europe ATM R and D Seminar. *Eurocontrol/FAA*, Saclay France 1997.
- [6] William C. Arthur and Michael P. McLaughlin. User Request Evaluation Tool (URET). Interfacility Conflict Probe Performance Assessment. Proceedings of the 2nd USA/Europe ATM R and D Seminar. *Eurocontrol/FAA*, Orlando France, December 1998.
- [7] B. V. Doorn and G. Bakker and C. Meckiff. Evaluation of advanced conflict modelling in the Highly Interactive Problem Solver 2001.
- [8] Sarah Degaugue. Apprentissage d'un modèle d'incertitude de la prévision de trajectoire pour le contrôle aérien en-route *23ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*, Villeurbanne - Lyon, France, 2022.
- [9] Schäfer, Matthias and Strohmeier, Martin and enders, Vincent and Martinovic, Ivan and Wilhelm, Matthias. IPSN-14 Proceedings of the 13th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks *IEEE*, 2014.