

# Outil d'aide à la décision pour proposer des trajectoires environnementalement efficaces

Pr Daniel Delahaye  
ENAC Lab, Équipe Optimisation et Apprentissage  
Chaire de recherche 3IA ANITI :  
AI for ATM and Large Scale Urban Mobility  
delahaye@recherche.enac.fr

17 octobre 2021

Afin d'assurer la capacité dans les centres de contrôle, l'espace aérien a été conçu de façon à fluidifier et à séparer le trafic, afin de garantir les niveaux de sécurité requis. Le trafic est ainsi structuré au niveau vertical (niveaux de vol), au niveau latéral (route aériennes) mais aussi au niveau temporel (régulation en vitesse à l'approche des TMA, "Miles en Trail aux États Unis). Si l'on considère, par exemple, le profil vertical optimal d'un avion de ligne (voir figure 1), ce dernier ne présente pas de niveaux de vol mais est constitué d'une montée et d'une descente continues (en vert sur la figure). Par contre, le profil opérationnel est contraint par des niveaux de vol afin d'aider les contrôleurs aériens à séparer les avions dans le plan vertical.

Dans le plan horizontal, les avions sont aussi contraints à suivre un réseau de routes qui permet de structurer le trafic pour les contrôleurs afin d'assurer la capacité des secteurs de contrôle. Ce réseau, associé à la sectorisation, permet de réduire le nombre de points de croisement et de localiser ces derniers dans la région centrale des secteurs afin d'augmenter l'efficacité des contrôleurs pour gérer le trafic. La nuit, lorsque le trafic est peu dense, il est très courant pour les contrôleurs de fournir des directes aux avions pour améliorer leur performance de vol. Lorsque le trafic augmente, les contrôleurs ont tendance à remettre les avions sur les routes et parfois à les contraindre en vitesse pour des questions de régulation dans les secteurs suivants (En-

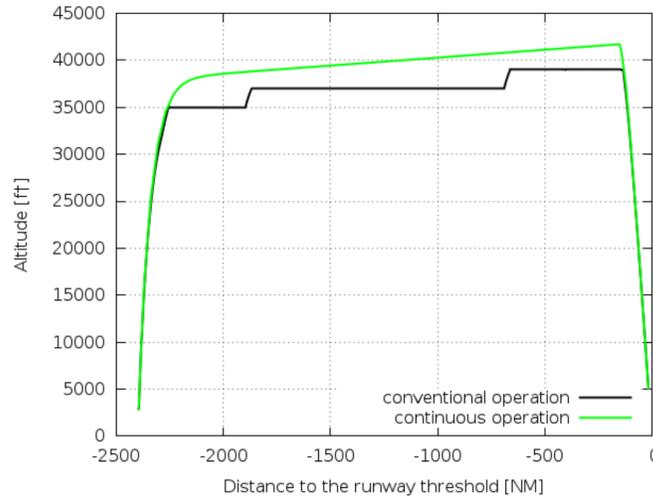


Figure 1: Comparaison entre le profil vertical optimal (en vert) et le profil opérationnel (en noir).

route ou TMA). Si l'ensemble du trafic était opéré de façon à optimiser la consommation kérosène (routes optimales en fonction du vent, profil vertical optimal, profil de vitesse optimal), il serait impossible pour les contrôleurs, avec les outils actuels, de gérer efficacement ce type trafic et l'espace aérien se retrouverait très vite en sous capacité.

Les centres de contrôle, au cours d'une journée, sont essentiellement dimensionnés à la pointe et pendant certaines périodes, des secteurs du centre sont en surcapacité.

Dans ces secteurs, il serait alors possible, par le biais d'un outil d'aide à la décision, de proposer aux avions des trajectoires environnementalement efficaces au niveau pré-tactique. À partir d'un catalogue de trajectoires proposées par les compagnies aériennes classées du moins contraint au plus contraint (avec ou sans niveaux de vols, optimisée en fonction du vent, etc...), et des capacités des secteurs traversés par ces trajectoires, il est alors possible d'optimiser l'ensemble des trajectoires afin de minimiser l'impact environnemental du trafic, tout en respectant la capacité de l'espace aérien. Ces avions auraient alors un profil 4D optimisé mais aussi ils seraient plus complexes à gérer et devraient être pondérés d'un coefficient de complexité plus fort.

A l'échelle de quelques avions, un humain pourrait sélectionner ceux qui

seraient susceptibles de bénéficier de trajectoires “vertes” , mais à l’échelle d’un centre de contrôle, la complexité induite serait trop forte, et nous proposons dans cette thèse de développer des algorithmes basés sur l’intelligence artificielle pour sélectionner les avions pouvant bénéficier de trajectoires plus efficaces au niveau environnemental, tout en assurant le respect des capacités des secteurs impactés. Cette approche pourra ensuite être déclinée au niveau Européen en collaboration avec le “Network Manager”.