

# Optimisation du trafic aérien sur l'Atlantique Nord

Mohammed Sbihi<sup>1</sup>

École Nationale de l'Aviation Civile, 7 avenue Edouard Belin F-31055 Toulouse, France  
mohammed.sbihi@enac.fr

**Mots-clés :** *North Atlantic Tracks, ADS-B, modélisation, programmation linéaire en nombres entiers, node packing*

## 1 Introduction

Les North Atlantic Tracks (NAT) sont des routes aériennes empruntées quotidiennement par des centaines de vols qui traversent l'Atlantique nord. Elles assurent une séparation entre les avions, au-dessus de l'océan. La densité du trafic et les normes de séparation horizontale importantes, imposées à cause de l'absence de couverture radar, limitent considérablement une utilisation optimale de ces routes. L'introduction de nouvelles technologies de surveillance va permettre de réduire significativement ces normes de séparation. Dans ce contexte, cet article étudie les possibilités pour améliorer la gestion du trafic aérien dans les NAT en s'appuyant sur la programmation linéaire en nombres entiers.

## 2 Description du problème

L'espace Atlantique nord est un des plus denses au niveau du trafic aérien. Le trafic est concentré à la fois temporellement et spatialement. D'une part, à cause des différences de fuseau horaire, deux courants principaux émergent : un flux vers l'ouest au départ de l'Europe dans la matinée, et un flux vers l'est au départ de l'Amérique du Nord dans la soirée. D'autre part, afin de réduire le temps de parcours et la consommation de carburant, tous les avions désirent suivre la route de temps minimum qui dépend de la position des anticyclones et du vent dominant qui en résulte. Par ailleurs, à cause de l'absence d'une couverture radar sur l'océan, les vols doivent suivre des règles de contrôle exigeant un espacement important entre aéronefs. Pour organiser ce flux de trafic et répondre à ces exigences, un réseau structuré 3D de routes appelé NAT (North Atlantic Tracks) a été mis en place [1]. Dans chaque sens (vers l'est ou vers l'ouest), il y a 5 ou 6 voies (rails) parallèles entre elles et séparées par 1 degré de latitude (60NM). Ces rails, formés de plusieurs niveaux de vol, sont modifiés chaque jour en fonction des conditions météorologiques. Les avions doivent fournir un compte rendu de position, par les voies de communication disponibles, au passage des longitudes multiples de 10° (10 W, 20 W, 30 W,...). Ces positions servent alors aux contrôleurs pour surveiller et assurer un espacement de 10 minutes entre deux avions qui se suivent sur un même rail (15 minutes dans le cas d'un changement de rail). Cet environnement très contraint laisse peu de marge aux pilotes pour demander un changement de rail. Ce qui engendre notamment une congestion très importante à l'entrée et à la sortie de l'espace continental. L'introduction du système de surveillance ADS-B (Automatic Dependant Surveillance-Broadcast) va permettre de réduire significativement l'espacement longitudinal [2]. Les avions pourront alors changer plus fréquemment de rail pour optimiser leurs routes.

### 3 Contributions

Cet article propose un cadre mathématique pour étudier les bénéfices résultant de la réduction des normes de séparation sur les NAT. D’abord, une modélisation de réseau de routes sous la forme d’un graphe simplifié, mais pouvant traduire les différentes règles opérationnelles du contrôle, est proposée. Ensuite, le problème d’optimisation du trafic est formulé comme un programme linéaire en nombres entiers. Cette formulation est basée sur le problème de *Node Packing* comme dans les problèmes de routage de trains [3]. Plus précisément, pour chaque vol  $v \in V$  on détermine l’ensemble  $P_v$  des combinaisons route-temps d’entrée dans le NAT  $(r, t)$  possibles pour le vol  $v$  et on introduit la variable binaire  $x_{vrt}$  valant 1 si et seulement si le vol  $v$  emprunte la route  $r$  et entre dans le NAT à  $t$ . Grâce à la structure de NAT et connaissant les vitesses des avions, les contraintes d’espacement mentionnées précédemment peuvent être décrites en définissant pour chaque paire de vols  $v, v' \in V$ , un ensemble  $C_{vv'}$  des combinaisons compatibles. Autrement dit,  $((r, t), (r', t')) \in C_{vv'}$  entraîne que si le vol  $v$  (resp.  $v'$ ) entre dans le NAT à  $t$  (resp.  $t'$ ) et vole sur la route  $r$  (resp.  $r'$ ), alors la contrainte de séparation est assurée. Le programme complet s’écrit

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{(r,t) \in P_v} c_{vrt} x_{vrt} \quad (1)$$

$$\sum_{(r,t) \in P_v} x_{vrt} = 1 \quad \forall v \in V \quad (2)$$

$$x_{vrt} + x_{v'r't'} \leq 1 \quad \forall ((r, t), (r', t')) \notin C_{vv'}; \forall v, v' \in V \quad (3)$$

$$x_{vrt} \in \{0, 1\} \quad \forall (r, t) \in P_v; \forall v \in V \quad (4)$$

Les contraintes (2) assurent qu’à chaque vol est attribué exactement une combinaison  $(r, t)$ . Les contraintes (3) garantissent que les combinaisons sélectionnées respectent la règle d’espacement. Le coefficient  $c_{vrt}$  dans la fonction-objectif (1) représente le coût associé à la combinaison  $(r, t)$  quand elle est allouée au vol  $v$ . Il permet d’envisager plusieurs métriques (temps total du vol, congestion, retard). Des inégalités valides sont proposées pour remplacer et pour réduire le nombre élevé des contraintes (3) menant ainsi à un problème pouvant se résoudre, en un temps raisonnable, à l’aide des solveurs classiques. Les résultats de test sur plusieurs journées du trafic réel révèlent un gain important concernant les temps de vol et de la congestion.

### Références

- [1] NAT Doc 007, Guidance concerning air navigation in and above the North Atlantic MNPS airspace, 2012th ed., International Civil Aviation Organisation, European and North Atlantic Office of ICAO, (2012).
- [2] A. Williams, Benefits assessment of reduced separations in North Atlantic Organized Track System, CSSI Inc., Advanced Programs, 400 Virginia Ave. SW, Washington, DC, Tech. Rep., (2005).
- [3] P.J. Zwaneveld, L.G. Kroon, and S.P.M. van Hoesel. Routing trains through a railway station based on a node packing model. *European Journal of Operational Research*, 128(1) :14–33, 2001.