

Planning de vols et de trains intégré par programmation linéaire mixte en nombres entiers

Clara Buire¹, Aude Marzuoli², Daniel Delahaye¹, Marcel Mongeau¹

¹ ENAC, Université de Toulouse, France

{clara.buire,daniel.delahaye,marcel.mongeau}@enac.fr

² Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA

amarzuoli3@gatech.edu

Mots-clés : *Programmation linéaire mixte en nombres entiers, intermodalité, transport aérien, transport ferroviaire*

1 Introduction

La Commission Européenne a fixé comme objectif de développer d'ici 2050 un réseau de transport intermodal permettant aux passagers de réaliser un trajet porte à porte fluide [1]. Dans le même temps, l'incitation à la réduction des vols courtes distances et à leur remplacement par des trains nécessite une coordination entre ces deux acteurs du transport, notamment en termes de planning. Actuellement, les plannings de vols et de trains sont établis indépendamment, sans communication entre les opérateurs. La nouveauté de cette étude consiste en la planification **simultanée** des vols et de trains afin de proposer aux passagers des transferts fluides entre les deux modes de transport.

2 Présentation du problème

Des premières études portant sur la synchronisation des horaires de vols et de trains ont été menées ces dernières années [3, 4]. Cependant, ces travaux reposent sur la seule modification des horaires de trains afin d'augmenter la couverture de connexion avec des vols dont les horaires restent inchangés. Ici, nous proposons d'adopter un nouveau **point de vue**: celui du **passager**, visant à optimiser les temps de connexion entre les deux modes, tout en assouplissant les horaires de vols. Une modélisation en programmation linéaire mixte en nombres entiers est proposée:

- **Données**: planning de vols et de trains initiaux.
- **Variables de décision**: perturbations des **horaires des vols et des trains**.
- **Objectif**: minimiser une fonction **bi-critère**: écarts aux durées de connexion optimales (**inconfort passager**) et **déviations aux plannings** initiaux; ces écarts au temps de connexion optimal sont modélisés par une fonction convexe linéaire par morceaux, donc linéarisable.
- **Contraintes**: capacité des gares et des aéroports (induisant l'utilisation de variables binaires afin de mesurer les volumes de trains et d'avions présents à chaque pas de temps), temps d'arrêts des trains en gare, temps de rotation des avions entre deux vols.

Cette modélisation bi-critère permet de concilier deux points de vue: passager et opérateur. Cela permet de proposer au décideur un éventail de solutions compromis Pareto-optimales.

Dans cette étude préliminaire, on se contente de considérer le critère opérateur comme une contrainte: la déviation au planning est limitée à une valeur seuil de Δ minutes. Cette modélisation a été testée sur des instances issues de données de différents aéroports: Paris-Charles de Gaulle (CDG), Madrid-Barajas (MAD) et Francfort (FRA). Le problème a été résolu à l'aide d'un solveur exact (Gurobi [2]) et en fixant le paramètre Δ à 15 minutes. Ces premiers résultats montrent des gains moyens de 27% en 2019 et de 32% en 2021 en termes de valeur de la fonction objectif pour une déviation moyenne du planning autour de 11 minutes. Ceci démontre les bénéfices potentiels pour les passagers, avec un impact limité pour les transporteurs.

La seconde partie de l'étude s'étend à l'échelle de plusieurs aéroports et des gares associées, considérés simultanément. En effet, la modification de l'horaire de décollage d'un avion induit un changement de son horaire d'atterrissage, pouvant perturber les opérations de l'aéroport de destination (il en est de même pour les trains). Ainsi, une modélisation du problème à l'échelle du réseau européen ainsi que des **instances** multi-aéroport basées sur des **données réelles** sont proposées et **mises à disposition** ([5]).

References

- [1] Flightpath 2050. Europe's vision for aviation. *Report of the high-level group on aviation research*. European Commission, 2011.
- [2] Gurobi Optimization, LLC. Gurobi Optimizer Reference Manual. <https://www.gurobi.com>
- [3] Ke, Y., Nie, L., Liebchen, C., Yuan, W., and Wu, X.: Improving synchronization in an air and high-speed rail integration service via adjusting a rail timetable: A real-world case study in China. *Journal of Advanced Transportation*, 13 pages, 2020.
- [4] Jiang, Y., Chen, S., An, W., Hu, L., Li, Y., and Liu, J.: Demand-driven train timetabling for air and intercity high-speed rail synchronization service. *Transportation Letters*, 2022, 1-15.
- [5] Buire, C. Multimodal schedule instances. <https://github.com/ClaraBuire/MultimodalInstances>. 2023