

SUJET DE THÈSE CIFRE

OPTIMISATION DYNAMIQUE DE LA MOBILITE DU PASSAGER MULTI-MODAL

Advisor (s): Aurélie Peuaud – aurelie.peuaud@soprasteria.com

Contexte et état de l'art

En réponse à la demande croissante de trafic aérien, de nombreux travaux de recherche relatifs à l'accroissement de la capacité sont menés par les acteurs du trafic aérien. Les algorithmes d'IA (Machine Learning, d'optimisation...) sont parmi les technologies explorées pour résoudre cette problématique, complexe et régie par une multitude de paramètres:

- Optimisation des flux de trafic aérien au niveau européen (EUROCONTROL & ANSP), des découpages des secteurs de contrôle, planification des trajectoires... [2, 3, 4]
- Optimisation de la flotte d'avion à l'échelle compagnie, maintenance prédictive via l'étude des pannes... [5, 6]
- Optimisation des flux passagers au niveau aéroport avec les études de comportements basées sur les statistiques passagers. [7, 8]

Les études descendent toutefois rarement au niveau de granularité du passager 'individuel', avec ses buts, contraintes et caractéristiques. Hors le trafic aérien consiste aussi, et peut-être avant tout, à déplacer un passager d'un point A à un point B en lui offrant le meilleur service.

Motivations de l'industriel

Ce sujet intéresse tout particulièrement la société Sopra Steria qui est engagée depuis 2017 dans les problématiques de mobilité et de multi-modalité via notamment le projet COMMUTE [1]

Ainsi, en adressant la problématique de capacité aérienne, ramenée à l'échelle de l'individu, Sopra Steria a pour objectif de renforcer son positionnement d'acteur de la smart city, en anticipant sur la mobilité de demain et en considérant le transport dans une démarche multi-modale, « door to door » mais aussi « city to city » ; ceci pour s'inscrire dans une logique de mobilité durable vis-à-vis de ses partenaires. Cette démarche tient compte à la fois des enjeux business des opérateurs de trafics, des enjeux environnementaux tels que la réduction de

l'empreinte carbone et des enjeux sociétaux tels que l'intégration de nouveaux acteurs dans le paysage urbain : VTOL, taxis volants.

En outre, Sopra Steria en tant qu'acteur du numérique et partenaire de la transformation digitale auprès de ses clients et de son éco-système, porte une attention aux nouvelles technologies et à l'IA en particulier. L'activité de R&D dans ce domaine est depuis plusieurs années un axe majeur pour Sopra Steria et plus particulièrement dans le domaine ATM (Air Traffic Management), au travers d'une forte implication sur les programmes SESAR, H2020 [9, 10] et l'investissement dans le développement de ses propres solutions (Shared Virtual Sky, EVAA) [11, 12]. La recherche est un levier essentiel pour répondre efficacement aux challenges de ses clients. Une maîtrise des technologies de pointe, une veille efficace et actualisée en temps réel et l'accès à un réseau de partenaires, particulièrement actif sur Toulouse dans le domaine de l'aérien, sont autant de motivations supplémentaires qui ont conduit Sopra Steria à proposer ce sujet de thèse avec son partenaire de longue date, l'ENAC.

Objectifs

L'objet de cette thèse est de considérer le transport à l'échelle de l'individu, dans une démarche multimodale globale.

Au cours de cette thèse, nous proposons de nous poser les questions suivantes :

- Comment faire émerger une structuration globale des flux sur le réseau de transport à partir de règles de comportement locales observées au niveau des passagers (problème d'émergence).
- Comment piloter efficacement cette émergence ?
- Quels bénéfices pour les acteurs ?
- Comment intégrer ces éléments dans une dynamique de mobilité à grande échelle, associant les réseaux de transport classiques (train et avion) et ceux qui vont émerger dans le futur (VTALL, taxis volants) ?

Le projet de recherche

Les enjeux relatifs à ce projet de recherche portent sur les deux points principaux suivants :

- L'augmentation globale constatée et attendue pour les prochaines décennies du trafic aérien mondial nécessite d'augmenter la capacité de manière drastique tout en garantissant la fluidité du trafic, la sécurité tout en respectant les contraintes environnementales. Dans ce cadre, la capacité aéroportuaire restera un facteur limitant. Pour répondre à ce double challenge (augmentation de capacité et respect des contraintes environnementales) une optimisation multi-modale peut être envisagée.
- Une approche innovante, dite 'passenger-centric' pour permettre de remettre au centre de la chaîne l'individu et valider si cette approche peut permettre in fine une optimisation globale du réseau et de la mobilité.

Le projet de recherche consistera à lever les incertitudes et verrous suivants, tels qu'identifiés au démarrage de la thèse. Ces incertitudes et verrous seront amenés à évoluer au cours des travaux ;

Incertaines :

- Y-a-t-il des 'patterns passager individuel' permettant de caractériser et clusteriser un comportement, suite à un retard avion, une panne, un événement climatique?
- Existe-t-il des règles locales de comportement passager permettant de faire émerger une structuration globale capacitive ?
- Comment replanifier efficacement les flux passagers en cas de rupture de capacité en sur des nœuds (arcs) du réseau à des instants donnés. Cette replanification tirera avantage des possibilités multiples associées à la multi-modalité (train, avion...)

Verrous :

- Comment prendre en compte des données hétérogènes dans le cadre des algorithmes d'aide à la décision développés dans cette thèse ?
- Sait-on bâtir un système IA capable d'optimiser le déplacement passager, avec des performances efficaces sur différents réseaux?
- Quelle est notre capacité à expliquer le modèle IA pour instaurer le cadre de confiance et viser une application grand public ?

Organisation

A. État de l'art (6 mois)

Dans un premier temps, l'étudiant fera un état de l'art des diverses méthodes associées à l'affectation de trafic multimodale [13,14,15,16,20,21] et s'attachera aussi à analyser les différentes techniques d'optimisation [18,19,24] et d'apprentissage en particulier apprentissage par renforcement [22,23] et les techniques basés sur l'émergence [17] qui pourront être utilisées pour la résolution de ce problème. Dans le même temps, l'étudiant s'attachera à répertorier les diverses sources de données qui pourra utiliser dans ces algorithmes. (Planning avions / trains, maillage aéroports / gares et leurs modes de connexions taxis volants, métro, bus...)

B. Modélisation mathématique du problème (6 mois)

Cette étape fondamentale de la thèse permettra à l'étudiant d'identifier le bon niveau d'abstraction de son problème ainsi les variables de décisions, les contraintes, et les fonctions objectives du ou des problèmes d'optimisation associés à la planification multimodale au niveau passager.

C. Développement des algorithmes de résolution basé sur l'optimisation (6 mois)

À partir de l'analyse mathématique associée à ce problème l'étudiant développera des algorithmes de résolution permettant d'optimiser les trajets individuels dans un cadre multimodal. Il s'attachera à construire des algorithmes d'optimisation permettant au passager de minimiser un critère individuel tout en respectant la capacité du réseau

D. Construction des scénarios (3 mois)

Cette phase consistera à développer les benchmarks qui permettront de tester l'efficacité des algorithmes et devra traiter les points suivants :

- a. Caractérisation du comportement passager par analyse des données & clustering
- b. Définition de Scénarios à potentiel multimodal, e.g. : grève, panne avion, retard, crise locale, ...
- c. Définition d'indicateurs de mesures d'impact au niveau local & global : environnemental, capacité, temps de trajet, ...

E. Validation des algorithmes d'optimisation sur des scénarios (3 mois)

F. Développement d'algorithme basé sur l'émergence (3 mois)

Pour traiter ce problème, une approche basée sur l'émergence sera proposée par l'étudiant afin de minimiser la congestion du réseau à partir de règles de comportement local individuelles. L'optimisation de ces règles fera partie intégrantes de la problématique.

G. Validation des algorithmes basés sur les émergences (3 mois)

Cette étape consistera à mesurer les performances de cette approche basée sur l'émergence et sera comparé aux résultats basé sur l'optimisation.

Cette comparaison se fera sur les mêmes scénarios

H. Rédaction du manuscrit (6 mois)

Le dernier semestre sera dédié à la rédaction de la thèse et les dernières publications.

Encadrement

La thèse sera cofinancée par l'ANRT et Sopra-Steria dans le cadre d'une bourse Cifre.

Cette thèse s'inscrit en outre dans le programme ANITI et plus particulièrement la chaire « Mobility Management - AI for Air Traffic Management and Large Scale Urban Mobility » dirigée par le Pr. Daniel Delahaye (ENAC). L'encadrement sera simultanément réalisé par la société et l'équipe « Optimisation » du laboratoire de l'ENAC.

Les séjours du doctorant seront équitablement répartis entre les deux partenaires industriel et académique.

Références

1. Projet COMMUTE : mené par la ville de Toulouse, en partenariat avec les grandes entreprises du secteur (Safran, Airbus) et les acteurs du tissu urbain (Tisseo), le projet vise à décongestionner le bassin aéroportuaire de la ville en analysant les déplacements individuels et expérimentant des solutions pour inciter l'adoption de modes de déplacement alternatifs au « tout voiture » (e.g. : vélo, covoiturage, train-voiture,..). Ce projet considère aussi bien les déplacements au niveau collectif en termes de flux qu'au niveau individuel, notamment sur les programmes d'incitations, <https://www.projetcommute.fr/>
2. David Gianazza. Optimisation des flux de trafic aérien : allocation de niveaux de vols et définition de trajectoires 3D. EDIT 2003, Colloque des doctorants de l'École Doctorale Informatique et Télécommunications, Apr 2003, Toulouse, France. fihal-00990278f, <https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-00990278/document>
3. Nicolas Barnier. Automatisation de la gestion du trafic aérien en Europe, Laboratoire d'Informatique et Mathématiques Appliquées (LIMA) – ENAC, 2010, Toulouse , http://www.laas.fr/files/MOGISA/laas_11_2010.pdf
4. Chen, Dan & Hu, Minghua & Zhang, Honghai & Yin, Jianan & Han, Ke. (2017). A network based dynamic air traffic flow model for en route airspace system traffic flow optimization. Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review. 106. 1-19. 10.1016/j.tre.2017.07.009.

5. Hooi Ling Khoo¹ and Lay Eng Teoh². An optimal aircraft fleet management decision model under uncertainty, 23 April 2013, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/atr.1228>
6. Juliette Mattioli, Pierre-Olivier Robic, Thomas Reydellet. L'intelligence artificielle au service de la maintenance prévisionnelle, Thalès, 2018. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01830917/>
7. Ju, Yanbing & Wang, Aihua & Che, Haiying. (2007). Simulation and Optimization for the Airport Passenger Flow. 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2007. 6605 - 6608. 10.1109/WICOM.2007.1621. https://www.researchgate.net/publication/224289527_Simulation_and_Optimization_for_the_Airport_Passenger_Flow
8. Xiaojia Guo , Yael Grushka-Cockayne , Bert De Reyck . Forecasting Airport Transfer Passenger Flow Using Real-Time Data and Machine Learning. 2018. https://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/19-040_89360426-c7a9-4aac-95e1-a3a3db276dc8.pdf
9. Programme SESAR, <https://www.sesarju.eu/>
10. Horizon 2020, <https://www.horizon2020.gouv.fr/>
11. **Environnement Virtuel Auto-Adaptatif (EVAA)** est un prototype développé par Sopra Steria à l'issue d'une thèse CIFRE de 3 ans en collaboration avec l'IRIT (Institut Informatique de Toulouse), A.RANTRUA, 2017 Simulation massive de monde virtuel par système multi-agent auto-adaptatif, <https://www.theses.fr/224300504>. L'objectif d'EVAA est de fournir un environnement de trafic simulé le plus réaliste possible et automatisé pour s'affranchir des méthodes manuelles de mise au point de scénarios, classiquement couteuses et chronophages. EVAA est basé sur un apprentissage des trajectoires réelles constituant ainsi une base de données dynamiques et réalistes des comportements avions. Moyennant un set d'apprentissage ad-hoc, EVAA est notamment capable de restituer les comportements de vol d'un avion donné, en tenant compte de la compagnie aérienne, du jour et de l'heure de décollage (e.g. : week-ends, nuits,...) et du type avion. La partie simulée d'EVAA utilise cette base de données et restitue un trafic simulé dans un ensemble de briques d'IHMs : carte géographique, IHM de contrôle permettant de manipuler les avions en temps réel (e.g. : clairances de contrôle ou ordres de pilotage) et IHM de modification de l'environnement traversé (e.g. : simulations de zones contrôlées, régulées ou interdites).
12. **Shared Virtual Sky (SVS)**, Depuis 2011, SVS est une solution d'interopérabilité pour les simulateurs ATM éditée par Sopra Steria et apportant une réponse innovante aux problématiques de simulation multi-partenaires et multi-géographiques. La solution SVS permet à plusieurs partenaires de connecter leurs simulateurs à un unique environnement réaliste en temps réel. Dans cet espace, les pilotes et contrôleurs aériens testeurs peuvent collaborer tout en étant géographiquement à distance, chacun situé sur son propre simulateur. SVS est issu d'un projet de R&D de 3 ans (GAIA) mené par Sopra Steria et est désormais opérationnel chez 12 clients majeurs de l'ATM dans le monde. Depuis 2011, plus de 50 exercices de simulation ont été effectués sur plus de 25 plateformes ATM. <https://www.soprasteria.com/fr/investisseurs/publications-rapports-financiers/rapports-financiers/steria-et-airbus-prosque-partenaires-du-projet-shared-virtual-sky-premiere-plateforme-de-virtualisation-en-reseau-de-l-espace-aerien-europeen>
13. "Metropolis: Relating Airspace Structure and Capacity for Extreme Traffic Densities", Emmanuel Sunil, Jacco Hoekstra, Joost Ellerbroek, Frank Bussink, Dennis Nieuwenhuizen, Andrija Vidodavljivic, Stefan Kern, 11th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Lisboa, Portugal, 06/015
14. "Complexity Analysis of the Concepts of Urban Airspace Design for the Metropolis Project" Andrija Vidosavljevic · Daniel Delahaye · Sunil Emmanuel · Frank Bussink · Jacco Hoekstra · ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2015), Tokyo, JP; 11/2015

15. "Traffic Manager: a Flexible Desktop Simulation Tool Enabling Future ATM Research" - Frank Bussink, Jacco Hoekstra, Bart Heesbeen, 24th IEEE/DASC Conference, Washington DC, 2005
16. Jeremie Chevalier, Daniel Delahaye, Mohammed Sbihi, and Pierre Maréchal. Departure and Arrival Routes Optimization Near Large Airports. *Aerospace*, 6(7):80, July 2019.
17. Man Liang, Daniel Delahaye, and Pierre Maréchal. Conflict-free arrival and departure trajectory planning for parallel runway with advanced point-merge system. *Transportation research. Part C, Emerging technologies*, 95(October 2018):pp 207–227, October 2018.
18. Sameer Alam, Supatcha Chaimatanan, Daniel Delahaye, and Eric Féron. A Meta-Heuristic Approach for Distributed Trajectory Planning for European Functional Airspace Blocks. *Journal of Air Transportation*, 26(3):81–93, 2018.
19. Supatcha Chaimatanan, Daniel Delahaye, and Marcel Mongeau. Hybrid metaheuristic optimization algorithm for strategic planning of 4D aircraft trajectories at the continent scale. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 9(4):46–61, November 2014.
20. Bingfeng, S., Xuedong, Y., Hunjun, S., Xiaobao, Y., & Ziyou, G. (2012). Travel Demand-Based Assignment Model for Multimodal and Multiuser Transportation System. *Journal of Applied Mathematics*.
21. Meng, M., Shao, C., Wong, Y., & Zhang, J. (2014). Multimodal Network Equilibrium with Stochastic Travel Times. *Mathematical Problems in Engineering*.
22. Bazzan, A. L., & Chira, C. (2015). A Hybrid Evolutionary and Multiagent Reinforcement Learning Approach to Accelerate the Computation of Traffic Assignment. *Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems* (pp. 1723–1724). Istanbul: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
23. Walraven, E., Spaan, M., & Bakker, B. (2016). Traffic flow optimization, Traffic congestion, Variable speed limits, Reinforcement learning, Neural networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 203-212.
24. Bell, J., & McMullen, P. (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced Engineering Informatics*, 41-48.

APPLICATION PROCEDURE

Formal applications should include detailed cv, a motivation letter and transcripts of bachelors' degrees.

Samples of published research by the candidate and reference letters will be a plus.

> applications should be sent by email to: advisor email

More information about application procedure: <https://aniti.univ-toulouse.fr/>





Université
Fédérale

Toulouse
Midi-Pyrénées

ANITI - ARTIFICIAL & NATURAL INTELLIGENCE TOULOUSE INSTITUTE
<https://aniti.univ-toulouse.fr/>