
LEPL1507 : Cahier des charges du projet 4 (MAP)

Amélioration du trafic aérien international

B. Massion, G. Van Dessel, G. Krings, E. Massart

Version du 04 février 2025

Afin de répondre à de nouvelles normes environnementales et industrielles, le réseau aérien mondial doit être en grande partie repensé. Le nouveau réseau devra satisfaire des demandes stratégiques, comme la nécessité de garder les lignes les plus fréquentées actives et le fait qu'aucun nouvel aéroport ne sera créé car le nouveau réseau se doit d'être opérationnel le plus vite possible. Vous avez été sélectionnés pour participer à un concours visant à définir les meilleures routes entre aéroports possibles. Convincez le jury et décrochez le contrat !

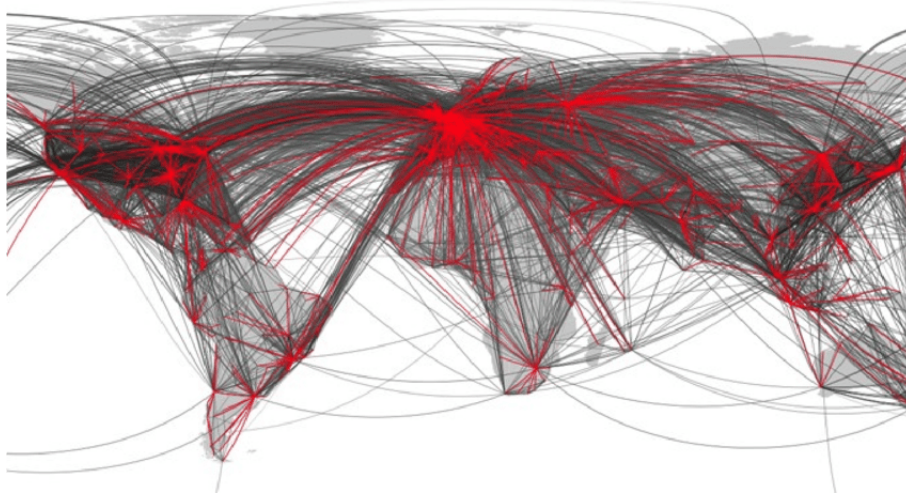


FIGURE 1 – Réseau aérien mondial de transport [Noori, Nadia S. & Paetzold, Kristin & Cardona, Xavier. (2017). Coordination in Crisis Response Networks : Empirical Results of Applying Coordination Theory and Complex Networks Analysis.]

1 Objectifs principaux

Objectif I - Nouveau réseau aérien

L'objectif principal est d'établir un nouveau réseau de connexions entre aéroports, qui soit représenté par un graphe $G(V, E)$. L'ensemble des nœuds du graphe V contient tous les aéroports du réseau. Les connexions sont des vols directs (sans escale) d'un aéroport de départ (*take-off*) A_t à un aéroport d'arrivée (*landing*) A_l et sont représentées par une paire $(A_t, A_l) \in E \subseteq V \times V$. Elles sont à sens unique, autrement dit les arêtes de E sont dirigées : Paris-Londres et Londres-Paris sont deux connexions différentes. Un trajet est une paire d'aéroports $(A_t, A_l) \in V \times V$ qui ne sont pas nécessairement reliés directement. Effectuer un trajet revient donc à emprunter une suite de connexions appartenant à E allant de A_t vers A_l . Le réseau à créer visera à assurer que tous les trajets présents dans une liste \mathcal{J} de longueur N soient rendus réalisables grâce aux arêtes choisies dans E . Plus précisément, à partir d'un ensemble de **connexions possibles** $\mathcal{P} \subseteq V \times V$ entre aéroports (i.e. acceptées par les autorités de l'aviation), votre but est de trouver le sous-ensemble de connexions $E \subseteq \mathcal{P}$ à garder de sorte à optimiser le critère suivant :

$$f(E) = \underbrace{\frac{1}{N} \sum_{(A_t, A_l) \in \mathcal{J}} \text{dist}(A_t, A_l | E)}_{\text{Confort du passager}} + C \cdot \underbrace{|E|}_{\text{Cout opérationnel}}$$

avec $C \geq 0$, où $|E|$ représente la cardinalité de l'ensemble E et $\text{dist}(A_t, A_l | E)$ est une fonction qui donne la distance **minimale** pour se rendre de l'aéroport A_t à l'aéroport A_l à travers le réseau défini par $G(V, E)$. Cette dernière fonction se doit d'être opérationnelle pour commencer à concevoir votre réseau.

Objectif II - Recommandation de trajets

Pour que votre projet soit le plus convaincant possible, vous souhaitez qu'il plaise à tous les acteurs, et particulièrement aux passagers. Créez un outil *facile à utiliser* pour permettre aux utilisateurs de trouver leur trajet optimal dans le nouveau réseau, selon 3 critères différents :

1. **la distance parcourue**, qui peut refléter la pollution engendrée par le voyage¹,
2. **le temps total du trajet**, qui inclut les temps d'attente lors des escales,
3. **le prix des billets**.

2 Objectifs secondaires

Une fois vos objectifs principaux atteints, vous devrez explorer au minimum un, et si possible plusieurs objectifs secondaires parmi la liste ci-dessous.

Dans un premier temps, nous vous demanderons de rédiger un cahier des charges de votre projet étendu à un/plusieurs de ces nouveaux objectifs, à inclure dans le rapport final. Pour ce faire, vous devrez concevoir des critères objectifs et quantifiables de réussite pour votre projet étendu.²

1. Cette analogie suppose que l'on néglige entre autres le type d'appareil emprunté, les émissions de décollage et d'atterrissage, une hypothèse certes fort idéaliste...

2. Notez qu'en pratique le cahier des charges d'un projet est en général réalisé par d'autres personnes que celles qui résolvent le projet, mais dans ce cours nous avons choisi de vous confronter simultanément à ces deux compétences : rédaction d'un cahier des charges, et résolution d'un projet.

Une fois le cahier des charges réalisé, à vous d'y répondre en modélisant mathématiquement les objectifs retenus, en concevant des solutions satisfaisantes pour ces objectifs et en démontrant les qualités de ces solutions.

Objectif A - Événement majeur

Dans le cadre d'un événement majeur, qu'il s'agisse d'un rassemblement sportif, culturel, religieux, scientifique, géopolitique ou même d'une catastrophe naturelle, il est fréquent que de nombreuses personnes (et/ou matériel) doivent toutes se rendre au même endroit en un très court laps de temps. Seulement, chaque route aérienne ne sait accueillir qu'une capacité limitée de passagers. Comment faire pour acheminer toutes ces personnes jusqu'à leur destination de manière optimale ?

Objectif B - Epidémie

En cas d'épidémie, il est crucial d'éviter autant que possible la propagation de la maladie à travers le monde. En particulier, le réseau aérien est critique car il permet à l'agent infectieux de se répandre très vite, sur de très longues distances. Certains aéroports, de par leurs connexions, sont des points plus sensibles du réseau afin d'endiguer la crise sanitaire en gestation. Il est crucial de déterminer quels aéroports sont les plus importants dans ce cadre afin de mettre en place une réponse adaptée et intelligente contre l'épidémie.

Objectif C - Robustesse

Des catastrophes naturelles, des guerres, des changements politiques ou des décisions judiciaires peuvent soudainement modifier le réseau en place, en rendant non-opérationnels des aéroports ou des connexions entre aéroports. Déterminez des critères pertinents pour mesurer la robustesse de votre réseau face à ce type de perturbations et montrez comment celui-ci peut s'adapter pour y faire face.

3 Critères d'acceptation

Le projet sera retenu parmi les projets éligibles par le jury international s'il répond aux cinq objectifs suivants :

1. (Format) Les livrables satisfont les formats demandés et sont fonctionnels ;
2. (Contrainte) Tous les trajets demandés sont réalisables dans le réseau ;
3. (Géométrie) Le problème est résolu sur une sphère ;
4. (Taille) Le problème peut être résolu sur un jeu de données jusqu'à dix fois la taille des données d'entraînement ;
5. (Efficacité) La solution peut être obtenue en moins d'une heure sur un ordinateur personnel normal équipé d'un processeur de type Core i5 (ou équivalent) et de 8 Go de mémoire RAM.

4 Ressources

- `airports.csv` Liste des aéroports inclus dans le réseau.

- `pre_existing_routes.csv` Liste des connexions entre aéroports pré-existantes et autorisées par les hautes instances de l'aviation.
- `waiting_times.csv` Liste des temps d'attente moyens lors d'une escale dans les aéroports.
- `prices.csv` Liste des prix des billets pour les différentes liaisons.
- `capacities.csv` Liste des capacités des connexions et/ou des aéroports, en nombre de passagers.

5 Échéances et livrables

Vous travaillerez en groupe tous les mardis matin (8h30-12h45) sur les lieux du consortium : salles a.007 et a.207 dans les locaux du bâtiment Euler. L'échéancier du projet est repris ci-dessous.

| Jour | Date | Lieu | Description |
|--------------|------------|-------------|--|
| S1 mardi | 04/02/2025 | Euler a.002 | Présentation du projet |
| Si mardi | - | Moodle | Mise à jour du planning (avant 09h15), <i>i</i> représente n'importe quel nombre impair entre 1 et 9 |
| S5 vendredi | 07/03/2025 | Moodle | Remise facultative de rapport intermédiaire |
| S11 vendredi | 18/04/2025 | Moodle | Remise du rapport final et des codes |
| S12 mardi | 06/05/2025 | Euler a.002 | Présentations orales |
| S13 mardi | 13/05/2025 | voir ADE | Examen écrit |
| S13 vendredi | 16/05/2024 | Moodle | Remise de l'analyse réflexive (fonctionnement du groupe) |

Détails sur les livrables et évaluations

Plannings : Nous vous invitons à organiser votre travail sur base de “sprints” de 2 semaines, inspirés de la méthodologie *Agile* largement utilisée dans le monde du travail. Toutes les deux semaines, nous vous demanderons de faire une réunion en début de séance visant à mesurer votre avancement et réadapter votre planning sur base du progrès réalisé au cours du dernier sprint. Vous devrez ensuite mettre à jour votre planning sur Moodle pour 9h15, chaque mardi de semaine impaire entre les semaines 1 (planning initial) et 9 (incluse). Ce document de deux pages devra contenir le planning principal à jour (c'est-à-dire, reprenant les étapes du projet prévues pour tout le quadrimestre, potentiellement mis à jour pour prendre en compte le retard accumulé/l'avance prise), les répartitions entre vous des tâches pour les deux prochaines semaines (prochain “sprint”) avec une estimation du temps nécessaire pour réaliser chaque tâche, et un retour critique sur l'avancement des tâches qui étaient à réaliser pendant le dernier sprint.

Rapport intermédiaire : Un rapport de maximum 5 pages présentant votre solution au moins au premier objectif principal. Un feedback vous sera remis sur ce rapport afin de vous permettre d'améliorer vos compétences de rédaction. La remise de ce rapport intermédiaire est optionnelle.

Rapport final et codes : Veuillez nous remettre les documents suivants, en respectant les spécifications mentionnées.

| Nom | Description |
|---|--|
| Objectif I | Un fichier Python <code>new_network.py</code> contenant une fonction éponyme <code>new_network()</code> qui prend en argument la liste des aéroports <code>airports.csv</code> , la liste des routes déjà existantes <code>pre_existing_routes.csv</code> , la liste de trajets à satisfaire <code>wanted_journeys.csv</code> ainsi que la valeur du coefficient <code>C</code> . Des arguments optionnels sont acceptés pour autant qu'ils aient une valeur par défaut. La fonction renvoie le coût de la fonction objectif <code>obj</code> et une liste d'arêtes sélectionnées <code>new_routes</code> , tout en créant un fichier <code>new_routes.csv</code> contenant le nouveau réseau. |
| Objectif II | Un programme interactif codé en Python qui permet au consommateur de facilement trouver son chemin idéal d'un aéroport A à un aéroport B, selon son critère préférentiel. |
| Objectifs secondaires | Des programmes Python qui permettent de résoudre de manière satisfaisante les objectifs secondaires que vous avez définis dans votre cahier des charges. |
| Documentation technique (rapport final) | Un rapport complet, synthétique (max. 20 pages, hors Annexes éventuelles) et professionnel, reprenant le contexte, le cahier des charges auquel la version finale de votre projet répondrait, le(s) modèle(s) retenu(s), une description de(s) méthode(s) de résolution, une description de l'interface développée, un ensemble de résultats pertinents expliquant le fonctionnement et les limites du modèle, ainsi qu'une discussion critique de ceux-ci. |

Présentation orale : Une présentation orale de 10 minutes, en groupe, simulant une présentation devant un panel de dirigeants mondiaux. Elle a pour but de montrer que c'est votre solution qu'il faut retenir. Le jury sera particulièrement attentif à l'exactitude, la pédagogie... et l'honnêteté de la présentation.

Examen écrit : Un examen écrit individuel qui a pour but de vérifier que les concepts clés du projet ont été acquis. Cet examen dure deux heures maximum et est organisé en simultané avec les autres filières du cours LEPL1507.

Analyse réflexive : Un document de deux pages maximum contenant une analyse réflexive du travail et du fonctionnement du groupe.

Quelques conseils

- Explorez la littérature scientifique à propos des sujets que vous souhaitez creuser.
- Citez évidemment toutes vos sources et vos inspirations dans vos productions, qu'elles soient scientifiques, journalistiques ou générées artificiellement. En particulier, si vous utilisez une intelligence artificielle pour votre projet, veuillez ajouter dans votre rapport un paragraphe précisant à quelles fin, et pour quelles parties de votre projet vous l'avez utilisée. Attention que vous restez responsable de toute information que vous incluez dans votre rapport, quelle que soit votre source (intelligence artificielle ou non) ; veuillez donc à vérifier leur véracité...
- Définissez clairement vos objectifs et vos critères de réussite.
- Définissez clairement vos notations : variables, inconnues, indices, fonctions, etc.
- Établissez clairement vos hypothèses de travail.
- Décrivez votre méthodologie.
- Prenez du recul sur ce que vous produisez : réfléchissez à la qualité de vos données, interprétez vos résultats, analysez leur pertinence, leurs avantages, leurs inconvénients et leurs limites.
- Comparez les différents modèles et les différentes méthodes que vous utilisez, selon des critères pertinents que vous aurez établis à l'avance.
- Rédigez vos rapports avec soin, tant au niveau du langage que de la structure et de la mise en page.
- Utilisez des graphes, des schémas et des représentations visuelles pour faciliter la lecture et la compréhension de votre travail. Le format vectoriel doit être privilégié au format matriciel pour les images.