

Analyse de la robustesse du réseau de transport aérien mondial : impact sur sa structure en composante

Issa Moussa Diop, Cherif Diallo, Chantal Cherifi, Hocine Cherifi

▶ **To cite this version:**

Issa Moussa Diop, Cherif Diallo, Chantal Cherifi, Hocine Cherifi. Analyse de la robustesse du réseau de transport aérien mondial : impact sur sa structure en composante. French Regional Conference on Complex Systems (FRCCS 2022), Jun 2022, Paris, France. hal-03671810

HAL Id: hal-03671810
https://hal.science/hal-03671810v1

Submitted on 18 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse de la robustesse du réseau de transport aérien mondial : impact sur sa structure en composante

I. M. Diop[1], C. Diallo[1], C. Cherifi[2], H. Cherifi[3]. (1) Université Gaston Berger, Saint Louis, Sénégal, (2) Université de Lyon 2, Lyon, France, (3) Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France diop.issa-moussa@ugb.edu.sn.

Introduction

Chaque jour, des millions de passagers et de marchandises transitent par le transport aérien. Cette infrastructure est essentielle dans la vie des gens à des fins économiques, sociales et sanitaires. Une perturbation peut avoir des conséquences importantes dans différents secteurs d'activité. Il est donc primordial d'étudier sa perturbation pour en limiter les dégâts. Le paradigme des réseaux complexes tente d'apporter des solutions dans ce sens.

Notre travail concerne les interactions entre le réseau mondial non pondéré du transport aérien et ses composantes régionales. Dans des travaux antérieurs, nous avons introduit une décomposition de réseau appelée structure en composantes d'un réseau [1]. Elle décompose un réseau en ses composantes locales et ses composantes globales. Les composantes locales sont des zones denses localisées du réseau originel. Les liens reliant les composantes locales et leurs nœuds associés forment les composantes globales. Sur la base de cette représentation, le transport aérien mondial comprend plusieurs composantes régionales correspondant à des zones géographiques et culturelles naturelles. Les composantes interrégionales révèlent les principaux aéroports et routes entre ces régions. Sur la base de cette représentation, nous explorons l'impact des attaques ciblées sur le réseau mondial du transport aérien sur ses composantes régionales et interrégionales. Nous considérons les mesures de centralité du Degree et de la Betweenness pour éliminer les nœuds par ordre décroissant[2]. Ces expériences donnent un nouvel aperçu des interactions entre les routes internationales et régionales exposées aux perturbations.

Données et Méthodes

Nous considérons un réseau non pondéré et non orienté provenant de FlightAware [3]. Les informations sur les vols ont été collectées pendant six jours (entre le 17 mai 2018 et le 22 mai 2018). Les nœuds représentent les aéroports, et les liens représentent les vols directs entre les aéroports pendant la période.

Notre objectif est d'évaluer l'impact d'une attaque ciblée sur le réseau mondial de routes sur ses composantes régionales et interrégionales. Par conséquent, une fois que la structure en composantes est extraite, le processus d'évaluation de la robustesse se déroule comme suit :

1. Déconnecter un nœud du réseau mondial de transport aérien selon une stratégie d'attaque (Degree ou Betweeness).
2. Déconnecter ce même nœud de ses composantes locales
3. Déconnecter ce même nœud de la composante globale s'il s'y trouve
4. Extraire la composante géante du réseau mondial de transport aérien
5. Extraire la composante géante de la composante locale qui a été touchée
6. Extraire la composante géante de la composante globale

Cette approche nous permet de visualiser l'impact de la suppression d'un aéroport stratégique du réseau mondial de transport aérien sur les réseaux régionaux et interrégionaux.

Résultats

Nous nous appuyons sur l'algorithme de détection des communautés de Louvain pour détecter les parties denses des réseaux. Il indique 27 communautés. Par conséquent, nous considérons qu'il y a 27 composantes locales. Il y a sept grandes et vingt petites composantes localisées dans diverses zones géographiques. Les plus grandes composantes couvrent les régions suivantes : 1) Amérique du Nord-Caraïbes, 2) Europe, 3) Asie de l'Est et du Sud-Est, 4) Afrique-Moyen-Orient-Asie du Sud, 5) Océanie, 6) Amérique du Sud, 7) Russie-Asie centrale-Transcaucasie. Il existe huit composantes globales. La plus grande regroupe plus de 96% des aéroports, et elle est répartie sur l'ensemble du globe [1]. Nous limitons notre attention aux sept plus grandes composantes locales et à la principale composante globale dans l'analyse de robustesse suivante.

Les résultats montrent que quelle que soit l'attaque sur le réseau mondial de transport aérien, on peut relier la façon dont le réseau se désintègre à la structure en composantes (voir Figure1). En effet, les composantes sont isolées les uns après les autres lorsqu'on supprime une certaine proportion des nœuds de plus haute centralité du réseau mondial de transport aérien. Les principales différences entre les deux types d'attaque sont la fraction de nœuds supprimés nécessaire pour qu'une composante se détache du réseau mondial et la taille de la composante isolée restante. Globalement, il faut cibler plus de nœuds avant l'isolement d'une composante dans l'attaque par le degré que dans l'attaque par Betweenness. De

plus, la taille des composantes isolées est plus petite dans l'attaque par le Degré. En effet, cette derniére donne la priorité aux hubs internes, réduisant ainsi la taille des composantes. Il faut ainsi supprimer de nombreux nœuds internes de haut degré avant d'atteindre les aéroports interrégionaux qui relient les composantes. En revanche, la centralité de Betweenness se concentre sur les aéroports interrégionaux, détachant plus tôt les composantes du réseau mondial avec des dommages mineurs à leur structure interne. Tour à tour, l'Amérique du Sud, l'Océanie, l'Est, l'Asie du Sud-Est et l'Amérique du Nord sont isolées par l'attaque par Betweenness. L'Océanie, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Asie de l'Est et du Sud-Est quittent successivement le réseau mondial lorsqu'on cible les nœuds par la centralité de degré. Ensuite, l'Afrique-Moyen-Orient-Asie du Sud, puis la Russie-Asie centrale-Transcaucasie se séparent de l'Europe dans les deux stratégies d'attaque. Notez que des relations économiques et géographiques lient ces deux groupes de régions. La Table 1 résume ce qu'on vient de décrire. On peut voir la différence entre les tailles des composantes géantes (LCC) après que les composantes régionales sont isolées suite aux attaques basées sur le Degré et la Betweenness.

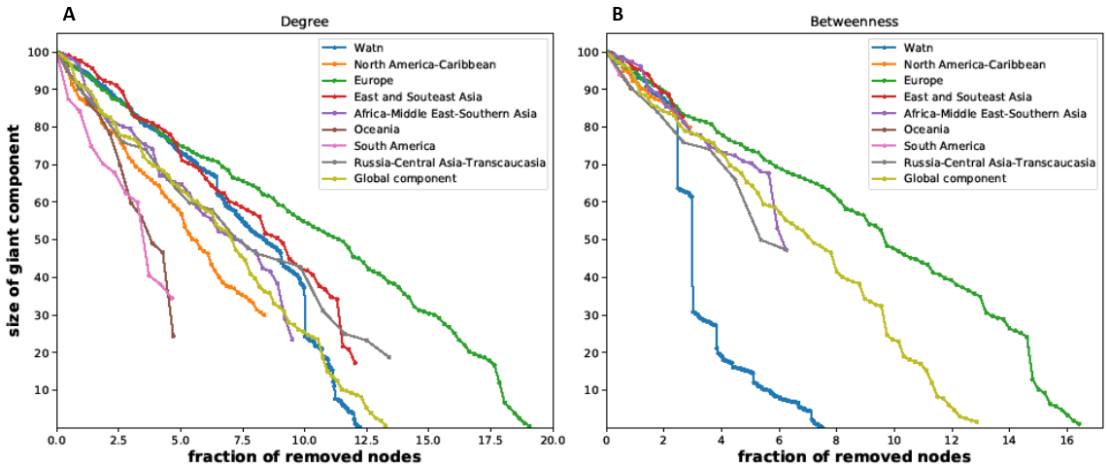


Figure 1 : La taille de la composante géante du réseau mondial de transport aérien, et les grandes composantes en fonction des nœuds retirés lors d'attaques ciblées sur le réseau mondial de transport aérien.

Composantes	**Degré**					**Betweenness**			
	Aéroports attaqués (%)	LCC (%)	Diamètre	Densité		Aéroports attaqués (%)	LCC (%)	Diamètre	Densité
Amérique du Nord	8,4	29,8	21	0,015		2,9	79,6	8	0,14
Europe	19	27,5	13	0,019		7,9	61,8	8	0,027
Asie de l'Est et du Sud-Est	12	17,2	11	0,04		2,6	82,4	8	0,24
Afrique-Moyen Orient- Asie du Sud	9,5	23,5	17	0,035		5,6	47,6	14	0,022
Océanie	4,7	24,3	15	0,04		0,008	90,2	9	0,017
Amérique du Sud	4,6	34,4	13	0,036		0,009	93,5	7	0,21
Russie-Asie Central-Transcaucase	13,4	18,7	6	0,13		6,2	47,32	5	0,2

Table 1 : La proportion d'aéroports contenue dans la Largest Connected Component (LCC) et la proportion d'aéroports attaquée une fois que la composante est isolée après les attaques basées sur le Degré et la Betweenness.

Conclusion

La structure en composantes nous permet d'étudier la robustesse du réseau mondial de transport aérien sous un angle nouveau. En effet, il s'agit d'un ensemble de sous-réseaux avec différentes densités internes géographiquement bien identifiées. L'étude de sa robustesse à travers sa structure de composants nous permet de mettre en évidence l'impact d'attaques ciblées dans différentes régions du monde. Ces résultats nous permettront d'adapter les stratégies de protection pour maintenir les routes interrégionales et minimiser l'effet des perturbations au niveau régional. Les travaux futurs porteront également sur le développement de stratégies d'attaque plus efficaces basées sur la structure en composante.

Références

[1] I.M. Diop, C. Cherifi, C. Diallo, H. Cherifi: Revealing the component structure of the world air transportation network. Applied Network Science 6(1), 1–50 (2021)
[2] Ahmed Ibnoulouafi et al J. Stat. Mech. (2018) 073407
[3] FlightAware: https://flightaware.com/ (2018)