DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **21 avril 2022**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Madame DANIEL Cécile**

Titre de la thèse : *« Contrôle sur un réseau de transport à large échelle pour une résilience accrue : analyses via des réseaux complexes, de l'intelligence artificielle et des calculs Big Data »*

Résumé

La croissance de la population urbaine est devenue un enjeu majeur des systèmes de transport. Le développement économique et social des villes modernes repose sur l'efficacité et la fiabilité de ces systèmes. Les transports sont donc un défi crucial touchant plusieurs domaines liés à l'activité des villes. L'ancienneté de certaines infrastructures et leur capacité d'accueil limitée rendent les villes plus vulnérables aux événements imprévisibles et à une demande et des embouteillages croissants.

Les solutions améliorant les conditions de transport (santé, sécurité, gestion du trafic) sont de plus en plus précises, grâce à l'usage généralisé de l'IA, et au développement des technologies Big Data de stockage, détection, communication et calcul. Les simulations de trafic sont maintenant basées sur des sources de données variées et de l'information plus précise pour mieux reproduire les dynamiques de trafic et le comportement des utilisateurs. L'analyse de telles données complexes et volumineuses reste cependant un défi qui requiert des solutions comme le calcul distribué, les modélisations multi-agent et la parallélisation, l'étude de la caractérisation et de la modélisation des vulnérabilités des réseaux de transport améliorant la mobilité urbaine n'étant encore qu'à ses débuts.

Pour prévenir les congestions et identifier les endroits vulnérables du réseau où les défaillances (congestions, inaccessibilité) auraient d'importantes conséquences, deux types d'analyse de vulnérabilité sont courantes dans le domaine du transport : une analyse dynamique basée sur la modélisation des systèmes, et une analyse statique basée sur la topologie des réseaux, toutes deux étudiées dans cette thèse. La première approche encouragée par le volume et la qualité des données collectées simule dynamiquement voyageurs, trajets et infrastructures de transport sur une période de temps. La deuxième approche est basée sur la théorie des graphes et des considérations statiques de topologie. Dans ce contexte, nous proposons d'abord une stratégie de contrôle recommandant dynamiquement de nouvelles routes aux conducteurs pour éviter la création de congestions et ainsi réduire la vulnérabilité des réseaux urbains. Notre stratégie repose sur un algorithme multi-agent de coopération hiérarchique où le réseau routier et les véhicules sont modélisés comme des agents, réagissant en temps réel aux conditions de trafic. Cette stratégie de contrôle permet une diminution de création de congestion ou une réduction de la durée des embouteillages. Nous prenons en considération le comportement des conducteurs pour trouver un équilibre entre les performances du système et les préférences individuelles ainsi que les contraintes liées à la protection des données. Nous montrons la robustesse de notre approche en la testant sur différents scénarios de demande et nous montrons que l'identification des noeuds vulnérables du réseau améliore la qualité de notre stratégie. Nous

identifions ces noeuds grâce à la Betweenness Centrality (BC), mesure de résilience en analyse topologique de vulnérabilité rarement incluse dans les approches dynamiques alors qu'utilisée dans de nombreux domaines. Cela est dû à la difficulté de calculer la BC dans un contexte temps réel sur de grands réseaux statiques. Ce problème de calcul est étudié dans un deuxième temps avec un algorithme distribué de calcul exact et rapide de BC sur grands graphes. Nous apportons les preuves mathématiques de l'exactitude de la BC calculée ainsi et montrons que dans un contexte de calcul distribué cette approche est scalable.

Notre solution de réduction dynamique de vulnérabilité d'un réseau urbain via du contrôle combiné à une étude topologique est robuste et fonctionne dans un contexte de temps réel. La solution proposée pour calculer la BC sur de grands graphes peut être étendue pour du calcul temps réel sur graphes pondérés et ainsi compléter la solution de contrôle via de la détection dynamique de vulnérabilité.