

Casser des Graphes

– sujet de thèse –

Matthieu Latapy

LIP6 – CNRS et Sorbonne Université

matthieu.latapy@lip6.fr

Safia Kedad-Sidhoum

CEDRIC – CNAM

safia.kedad_sidhoum@cnam.fr

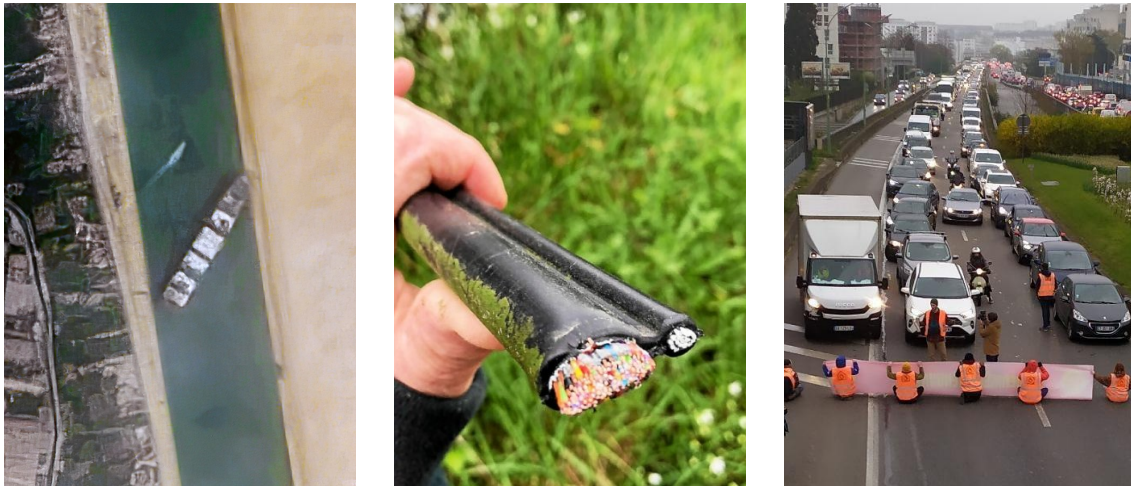


FIGURE 1 – De gauche à droite : le canal de Suez bloqué par un bateau ; un câble internet sectionné ; blocage du périphérique parisien.

Contexte

Beaucoup de mouvements sociaux ou écologistes utilisent des **blocages de rues** ou d'autres **perturbations de réseaux d'infrastructures** pour faire entendre leurs voix. Par exemple, la CGT et *Dernière Rénovation* mobilisent des petits groupes d'individus pour bloquer la circulation sur certaines rues. D'autres activistes sectionnent des câbles de télécommunications ou sabotent des antennes. Voir Figure 1.

L'impact réel ou potentiel de telles actions est toutefois mal connu, et très peu étudié. Par exemple, est-il possible de couper une ville, un quartier, ou une région en deux parties déconnectées ? Est-il possible d'isoler du reste du réseau un quartier ciblé ? À quel coût (combien d'axes coupés, de quelle largeur) ? Avec quelles hypothèses ? Comment évaluer l'étendue de la perturbation obtenue ? ...

Ces questions sont très proches de plusieurs problématiques classiques en informatique, notamment l'étude des **coupes de graphes**. Une coupe est un ensemble d'arêtes (ou de sommets) qui, si elles sont supprimées, divisent le graphe en plusieurs composantes connexes. Comme le montre la Figure 2, toutes les coupes ne se valent pas en termes de perturbation.

Objectifs

L'objectif central de cette thèse est d'**étudier l'impact potentiel d'actions de blocages dans les réseaux urbains**, avec un haut niveau de réalisme obtenu grâce aux données de terrain extrêmement riches aujourd'hui disponibles, et en tirant parti des implémentations tout aussi riches d'algorithmes de coupes de graphes actuellement disponibles.

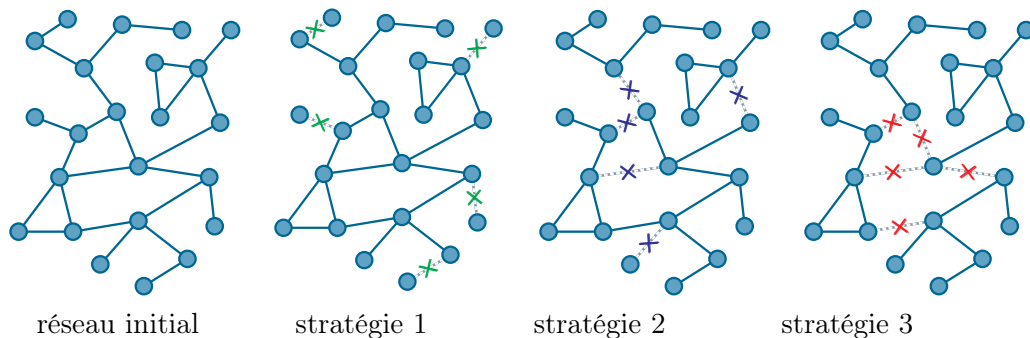


FIGURE 2 – Un réseau (à gauche), puis trois stratégies supprimant chacune 5 liens. La stratégie 1 (en vert) laisse l’essentiel du réseau connecté. La stratégie 2 (en bleu) casse le réseau en morceaux déconnectés les uns des autres, mais laisse encore une grosse partie du réseau connectée. La stratégie 3 (en rouge, à droite) fait des morceaux plus petits.

Plus précisément, nous avons identifié les axes de travail suivants.

- À partir des données disponibles (*OpenStreetMap*, IGN), nous **modéliserons la ville** comme un graphe de rues, en intégrant des éléments clés comme le coût de blocage de chaque rue. On peut penser à la largeur de la rue, mais aussi la vitesse autorisée ou la nature du tronçon (ponts, tunnels, etc).
- Nous explorerons les **variantes des problèmes de coupes** pertinentes dans le contexte des blocages : les classiques coupes équilibrées, mais également les coupes ciblées (on cible une partie spécifique du réseau), diversifiées (plusieurs coupes très différentes), robustes (reste une coupe même si certains liens sont rétablis), dynamiques (liens coupés pour un temps limité), etc.
- Nous explorerons les **implémentations d’algorithmes de coupes** disponibles (bibliothèques KaHIP et Scotch). Il s’agira d’évaluer leurs performances sur les graphes qui nous intéressent et d’étudier la pertinence des résultats obtenus (optimalité, équilibre des coupes, diversité et robustesse des coupes, par exemple).
- Nous étudierons les **caractéristiques des coupes** obtenues en pratique : leur taille, leur structure, mais aussi les propriétés des liens à couper et des partitions obtenues. Ceci rapprochera les méthodes de coupe des méthodes de détection de communautés, dont nous nous inspirerons pour analyser les coupes obtenues.
- Nous souhaitons également explorer les relations entre ces approches et les travaux sur la **robustesse** par suppression itérée de noeuds et liens, dont la similarité avec les coupes de graphes est frappante bien qu’ils soient rarement rapprochés.
- Nous intégrerons l’**information temporelle** dans les problèmes de coupe, via la modélisation en *stream graphs*¹. Ceci permettra de tenir compte du fait qu’un blocage n’est pas en général de longue durée et ouvrira tout un nouveau pan de recherches.

Justification de l’approche

Notre approche tire parti de deux situations nouvelles : la disponibilité de **données** de qualité et à grande échelle sur les réseaux de transport et leurs perturbations, d’une part, et un état-de-l’art extrêmement riche en algorithmique des **coupes de graphes**, d’autre part. Nous comptons nous appuyer sur ces ressources pour analyser les coupes de réseaux d’infrastructures, en pratique,

1. *Stream Graphs and Link Streams for the Modeling of Interactions over Time et Weighted, Bipartite, or Directed Stream Graphs for the Modeling of Temporal Networks*, par Matthieu Latapy, Clémence Magnien et Tiphaine Viard, <https://arxiv.org/abs/1710.04073> et <https://arxiv.org/abs/1906.04840>

sur des cas d'intérêt particuliers (comme les réseaux urbains). Cette approche combinant théorie et pratique est très originale sur ces sujets, et elle semble particulièrement prometteuse.

Pertinence pour SCAI et PostGenAI@Paris

Ce projet de thèse s'inscrit dans une démarche d'optimisation, recherche opérationnelle, et aide à la décision, qui sont des thématiques d'IA portées par SCAI. Elle s'inscrit également dans le domaine de l'analyse de données massives et complexes, qui est également dans le périmètre de SCAI. De façon plus spécifique, le projet cible un des trois domaines principaux de PostGenAI@Paris, à savoir **les sociétés résilientes**, puisqu'il s'agit de comprendre certaines perturbations de réseaux d'infrastructures.

Ce projet vise également le renforcement des **collaborations** entre SU et le CNAM, via l'établissement d'une nouvelle collaboration entre l'encadrant et l'encadrante.

Soulignons enfin que l'objet de ce projet est de nature profondément **interdisciplinaire**, et sera développé en collaboration avec des collègues de sociologie (notamment Mathieu Quet, IRD, auteur du livre *Flux - Comment la pensée logistique gouverne le monde*), en géographie (notamment César Ducruet, CNRS, avec qui nous travaillons déjà sur les réseaux maritimes), et en sciences du transport (notamment le LVMT, Laboratoire Ville Mobilité Transport, avec lequel de premiers contacts sont pris).

Co-encadrement

L'encadrant et l'encadrante proposant ce projet de thèse ont des **expertises complémentaires** sur les deux grands domaines impliqués : l'analyse de données, notamment les dynamiques de graphes et réseaux temporels, sous un angle statistique, pour Matthieu Latapy ; l'algorithmique de graphes, la recherche opérationnelle, l'optimisation, et en particulier les coupes de graphes, pour Safia Kedad-Sidhoum.