

Indicateurs de robustesse des réseaux

Porteur : Aurélie Charles

Partenaires :

Laboratoire : DISP

Composante : Université Lyon 2

Nature du financement demandé : Stage de M2

Période : 01/02/2025 à 11/07/2025

Résumé : (200 mots)

Nous souhaitons proposer un indicateur fonction du First Passage Percolation (FPP) en tenant compte de l'état d'un réseau (ses nœuds, ses liens dégradés ou détruits) issue de la théorie classique de la percolation, applicable à un système de réponse humanitaire. Le FPP s'intéresse au nombre obtenu de liens et à leur répartition pour une valeur donnée des plus courts chemins du réseau. Si par exemple, les poids sur les liens entre les nœuds correspondent à un temps d'acheminement ou à l'inverse d'une capacité, l'idée du FPP est de donner pour un nœud choisi l'ensemble de tous les nœuds et liens qui sont connectés à ce nœud pour un temps d'acheminement ou une capacité donnée. On fait ensuite varier cette valeur jusqu'à la valeur du plus court chemin la plus élevée pour toutes les valeurs. Cette approche reprend celle des « min-cut max-flow » plus classique en optimisation. Ces approches permettent de donner une idée de la structure interne du réseau par sa capacité à transmettre un flux. Dans un contexte de gestion de crise, cela permet de savoir si les aides aux populations atteintes pourront être acheminées rapidement ou non. Et cette information-là, elle est vitale pour les humanitaires.

Sujet développé :

Pour ce stage, notre principal objectif est de travailler sur la résilience des sociétés. Afin d'éviter qu'un système n'ait plus la capacité de remplir ses objectifs fonctionnels, il est primordial d'identifier quelles en sont ses fragilités. Lorsque le système est modélisé sous une forme de réseau (ou de réseau de réseaux), cette notion correspond à celle de la robustesse. Ce projet se focalise sur un type de perturbation : la survenue d'une catastrophe naturelle de grande ampleur, comme un tremblement de terre, une inondation, une tempête... Nous proposons de représenter le système de réponse aux crises sous la forme d'un réseau multicouches où les nœuds représentent les entités (ville, entrepôt, hôpital, aéroport. . .) et les liens matérialisent leurs connections (routes, liaisons aériennes. . .).

Nous souhaitons proposer un indicateur fonction du First Passage Percolation (FPP) en tenant compte de l'état du réseau (ses nœuds, ses liens dégradés ou détruits) issue de la théorie classique de la percolation. La percolation classique consiste à détruire de manière aléatoire ou ciblée différents nœuds ou liens, et de détecter le moment où on observe la disparition de la plus grande composante connexe du réseau. Le FPP s'intéresse au nombre obtenu de liens et à leur répartition pour une valeur donnée des plus courts chemins du réseau. Si par exemple, les poids sur les liens entre les nœuds correspondent à un temps d'acheminement ou à l'inverse d'une capacité, l'idée du

FPP est de donner pour un nœud choisi l'ensemble de tous les nœuds et liens qui sont connectés à ce nœud pour un temps d'acheminement ou une capacité donnée. On fait ensuite varier cette valeur jusqu'à la valeur du plus court chemin la plus élevée pour toutes les valeurs. Cette approche reprend celle des « min-cut max-flow » plus classique en optimisation. Ces approches permettent de donner une idée de la structure interne du réseau par leur capacité à transmettre un flux pour toute source et toute destination. Dans un contexte de gestion de crise, cela permet de savoir si les aides aux populations atteintes pourront être acheminées rapidement ou non. Et cette information-là, elle est vitale pour les humanitaires.

Nous proposons d'aborder la problématique de robustesse sous l'angle du flux transporté dans le réseau en exploitant l'indicateur proposé précédemment mais en l'adaptant à un réseau multicouche où les éléments sont hétérogènes. Pour ce faire, un travail de classification des acteurs et éléments du réseau en fonction de leur sémantique est nécessaire pour reconstruire un indicateur ou un set d'indicateurs appliqué à un réseau multicouches.

Programme de travail proposé :

Revue de littérature et mise à niveau concernant les travaux préexistants

Proposition d'indicateurs

Implémentation sur des réseaux « classiques »

Travail sur la cohérence des indicateurs dans le cadre d'un réseau multicouche

Prise en main des bases de données fournies par Handicap International et implémentation sur un cas réel

Validations incrémentales avec HI

Quelques références bibliographiques :

A.-L. Barabási and M. Posfai, *Network Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

S. R. Broadbent and J. M. Hammersley, "Percolation processes," *Math. Proc. Cambridge Philos. Soc.*, vol. 53, no. 3, pp. 629–641, 1957, doi: 10.1017/S0305004100032680.

A. Charles, G. Bouleux, and C. Cherifi, "Understanding the situation at a glance: The powerful value added of complex networks to analyse humanitarian operations," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 75, p. 102932, 2022, doi: 10.1016/j.ijdr.2022.102932.

M. Besiou and L. N. van Wassenhove, "Humanitarian operations: A world of opportunity for relevant and impactful research," *Manuf. Serv. Oper. Manag.*, vol. 22, no. 1, pp. 135–145, 2020, doi: 10.1287/msom.2019.0799.

R. Interdonato, M. Magnani, D. Perna, A. Tagarelli, and D. Vega, "Multilayer network simplification: Approaches, models and methods," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 36, p. 100246, May 2020, doi: 10.1016/j.cosrev.2020.100246.

H. Kesten, "Percolation Theory and First-Passage Percolation," *Ann. Probab.*, vol. 15, no. 4, pp. 1231–1271, Oct. 1987, doi: 10.1214/aop/1176991975.

R. Kumar, S. Kumari, and A. Mishra, "Robustness of multilayer networks: A graph energy perspective," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 628, p. 129160, 2023, doi: 10.1016/j.physa.2023.129160.

R. Kumar and A. Singh, "Robustness in Multilayer Networks under Strategical and Random Attacks," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 173, no. 2019, pp. 94–103, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.06.013.