

Analyse théorique et quantitative de la remise en service de réseaux d'infrastructures

Définition d'un cadre d'analyse fondé sur les propriétés structurelles

Serge Lhomme

Université Paris-Est Créteil (UPEC), Lab'Urba

19 mai 2017

- 1 Contexte de la recherche
- 2 Cadre d'analyse
- 3 Applications et résultats
- 4 Conclusion

Les réseaux, des caractéristiques problématiques

Les réseaux peuvent être considérés comme des « infrastructures critiques » :

Date	Lieu	Durée (h)	Personnes affectées	Causes du « blackout »
14 Aout 2003	USA (NYC)	16	50 (Mio)	Problème de maintenance
28 Sept. 2003	Italie	18	56 (Mio)	Surcharge du réseau
12 Juillet 2004	Athènes	3	5 (Mio)	Voltage collapse (écroulement de tension)
18 Aout 2005	Java-Bali	7	100 (Mio)	Problème sur une ligne du réseau de transmission entraînant des défaillances en chaîne sur le réseau
4 Nov. 2006	Europe (ouest)	2	15 (Mio)	Surcharge du réseau
10 Nov. 2009	Bésil	6	60 (Mio)	Court-circuit sur une ligne puis défaillance en chaîne

Des réseaux vulnérables aux inondations, aux submersions, aux risques naturels : pour le transport ferré, voir Prague en 2002, Sandy en 2012....

RGC4

Le projet RGC4 vise à développer des outils opérationnels pour améliorer la continuité d'activité des services urbains et des réseaux techniques associés face aux inondations.

RGC4 se concentre plus particulièrement sur le territoire francilien en collaboration étroite avec certains gestionnaires de réseaux, la préfecture de police de Paris, des collectivités territoriales.

Dans ce projet, le WP3 se focalise sur la remise en service des réseaux techniques :

- Optimisation de la remise en service et de la mise en œuvre de solutions palliatives ;
- Optimisation multi-acteurs aboutissant à des problèmes surcontraints.

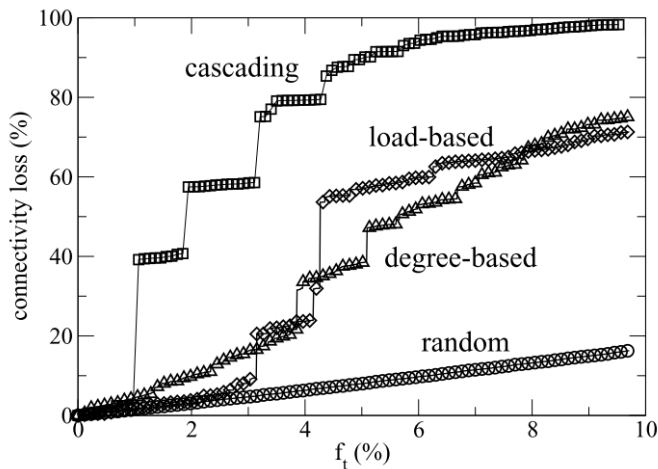
Etat de l'art

Dans le domaine des risques, les propriétés structurelles de différents réseaux d'infrastructures ont été étudiées afin :

- d'analyser leurs « vulnérabilités structurelles » (Albert et al., 2004 ; Gleyze et Reghezza, 2007),
- d'appréhender leur « robustesse » (Solé et al., 2008 ; Wang et Rong, 2011 ; Tang et al., 2016),
- de simuler les dynamiques de « défaillances en cascade » (Wang et Rong, 2009 ; Zhang et al., 2014),
- d'identifier des scénarios de défaillances et d'attaques, voire des composants, considérés comme « critiques » (Albert et al., 2000 ; Zio et al., 2011 ; Murray et Grubestic, 2012 ; Lhomme, 2015).

Si certains auteurs ont recours au terme de résilience, celui-ci est souvent utilisé maladroitement comme un antonyme de la vulnérabilité ou un synonyme de la robustesse (Cohen et al., 2000 ; Wang et Rong, 2009 ; Matisziw et al., 2012 ; Alderson et al., 2015 ; Gao et al., 2015).

Etat de l'art



Albert et al., 2004, Structural vulnerability of the North American Power Grid, Physical Review E

Le principe

Processus d'étude d'un scénario de défaillances



Graphe du réseau

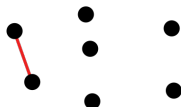


Suppression d'un arc



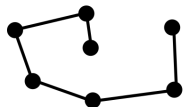
Suppression d'un nouvel arc

.....

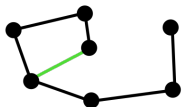


Suppression du dernier arc

Processus d'étude d'une stratégie de restauration



Graphe du réseau perturbé

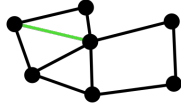


Ajout d'un arc



Ajout d'un nouvel arc

.....



Ajout du dernier arc

Les postulats

On part d'un réseau perturbé (un réseau existant auquel on a supprimé des arcs). Ce réseau est très perturbé, mais toujours connexe (on peut parcourir le graphe pour se rendre vers tous les sommets).

Etre très perturbé signifie posséder très peu d'alternatives à la suppression d'un arc (voire pas du tout, on parle alors d'arbre).

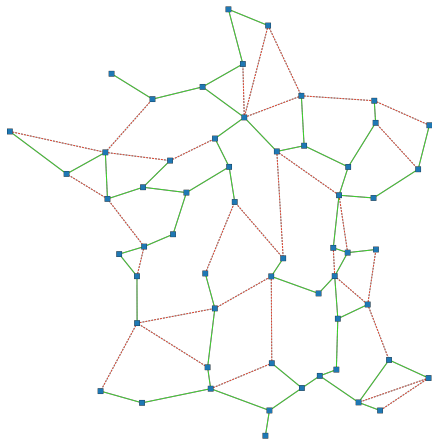
La remise en service (ajout d'arcs préalablement supprimés) est un processus itératif successif simple (on ne répare qu'un seul arc à la fois, ou un nombre important d'arcs en même temps).

Le temps de chaque remise en service est simplifié à l'extrême (chaque ajout d'arc peut être considéré comme une unité de temps), l'efficacité d'un choix pouvant se mesurer à l'aide d'un indicateur de performance (ici la somme des éloignements moyens).

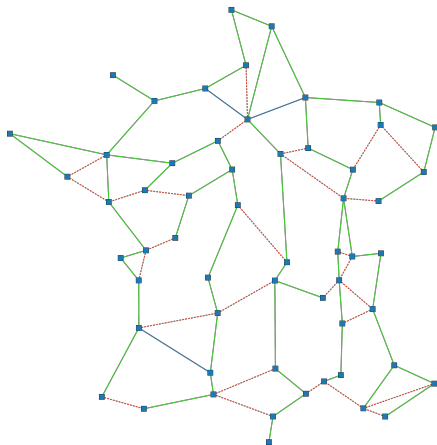
On cherche à revenir à l'état initial (on a gardé en mémoire la structure du réseau existant).

Deux approches possibles

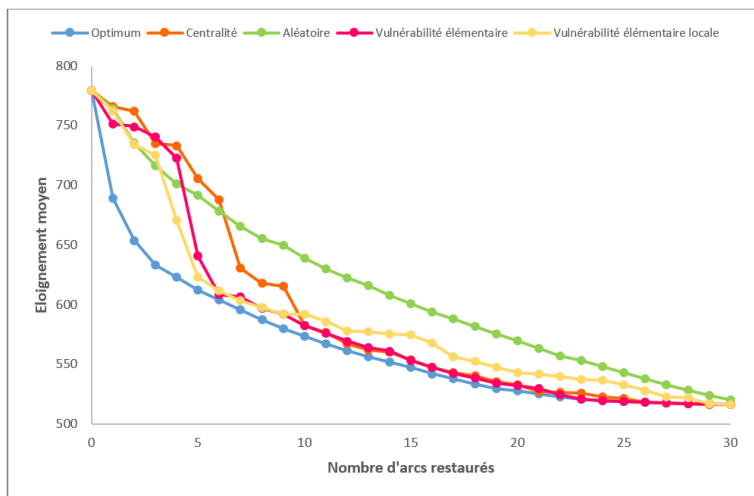
Approche 1 & 2



Approche 2



Des stratégies, des graphiques et une mesure synthétique



Des stratégies, des graphiques et une mesure synthétique



$$R = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(X_{k+1} - X_k)(Y_{k+1} + Y_k)}{2}$$

Applications

		Columbus	Indianapolis	France	IDF	Europe	Allemagne	Moyenne
Proposition 1	Optimum	0.196	0.131	0.176	0.182	0.047	0.081	0.135
	Centralité	0.303	0.215	0.270	0.223	0.077	0.116	0.200
	Vulnérabilité élémentaire	0.230	0.160	0.239	0.211	0.078	0.113	0.171
	Vul élém locale	0.341	0.247	0.258	0.289	0.157	0.179	0.245
	Aléatoire	0.361	0.289	0.367	0.338	0.188	0.260	0.304
Proposition 2	Optimum	0.1960	0.154	0.202	0.208	0.140	0.218	0.186
	Centralité	0.301	0.215	0.247	0.257	0.180	0.258	0.243
	Vulnérabilité élémentaire	0.255	0.202	0.234	0.243	0.159	0.228	0.220
	Vul élém locale	0.360	0.303	0.284	0.289	0.306	0.285	0.304

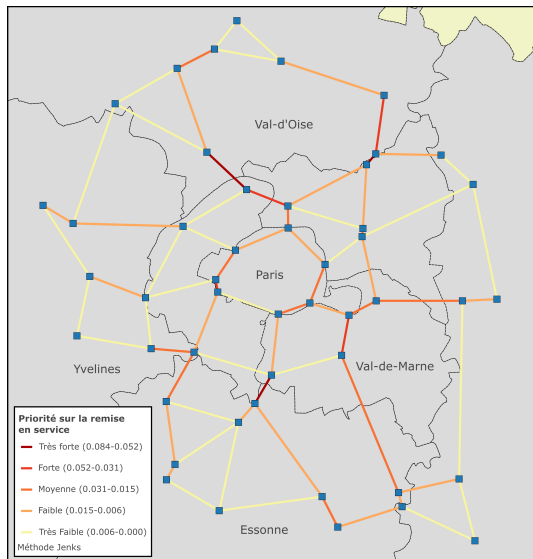
Une méthode pour spatialiser les résultats

Il semble pertinent de classer l'ensemble des arcs d'un réseau en fonction de leur importance dans les différents processus de restauration étudiés, ce classement pouvant à terme être :

- 1 comparé à des indicateurs issus de l'analyse de réseaux afin d'identifier des corrélations ;
- 2 cartographié afin d'identifier des logiques spatiales.

Pour cela, les différents classements obtenus à l'aide d'un algorithme glouton ont été exploités à l'aide d'une méthode de comparaison par paires (Saaty, 1977). Cette méthode a été résolue en utilisant l'algorithme RGCM (Koczkodaj et Orłowski, 1997) et appliquée sur le réseau des voies expressives d'Ile-de-France et le réseau viaire d'Indianapolis.

Une méthode pour spatialiser les résultats (0.250)



Conclusion

On dispose d'un cadre théorique relativement formel pouvant se rattacher à des recherches existantes portant sur la vulnérabilité structurelle des réseaux.

On dispose des premières stratégies de remise en service pouvant être appliquées à tous les types de réseaux d'infrastructures.

Néanmoins, une éventuelle synthèse des résultats au niveau des arcs, pouvant permettre une cartographie simple et ainsi d'identifier des logiques spatiales, se révèle complexe ou compliquée (la méthode mise en œuvre n'est pas robuste).

Pire, la diversité des perturbations initiales pourraient rendre ce travail de synthèse inexploitable ou insensé.

Enfin, parmi les postulats, la logique spatiale de l'organisation de la remise en service a été négligée.

Perspective : laissé de côté l'aspect théorique développé, pour résoudre des problèmes concrets de recherche opérationnelle.