

Architecture des réseaux informatiques

Labo 0 : Reproduction des résultats de Paul Baran



EL HAKOUNI Yassin
06/03/2025

1. Introduction

Contexte

Le but de ce laboratoire est de reproduire les résultats de Paul Baran sur la robustesse des réseaux en utilisant une simulation basée sur la méthode de Monte-Carlo. Cette simulation permet d'évaluer comment la redondance des connexions dans un réseau influence sa tolérance aux pannes.

L'expérience vise à modéliser différentes topologies de réseaux avec des niveaux de redondance variés (notés R) et à observer l'impact de la suppression aléatoire de nœuds sur la connectivité globale.

Méthodologie suivie

- Génération de réseaux avec différents niveaux de redondance R allant de 1 à 6 inclus.
 - Simulation de pannes aléatoires de nœuds.
 - Mesure de la taille de la plus grande composante connexe après panne.
 - Répétition de l'expérience pour obtenir une moyenne statistiquement représentative.
 - Comparaison des résultats avec ceux de l'article de Baran.
-

2. Mise en place de la simulation

Génération des topologies

J'ai utilisé la bibliothèque `networkx` pour construire les graphes correspondant aux différentes valeurs de redondance R :

- R = 1 : Topologie en ligne.
- R = 2 : Grille carrée standard.
- R = 3 : Grille + (ajout de connexions diagonales simples).
- R = 4 : Grille ++ (ajout de connexions diagonales en croix).
- R = 5 : Grille améliorée+ (ajout de diagonales plus éloignées en plus des diagonales précédentes).
- R = 6 : Grille améliorée++ (ajout des diagonales opposées en plus des précédentes).

Simulation des pannes

Chaque réseau généré est soumis à des pannes aléatoires simulées en supprimant un pourcentage Pp de nœuds. La panne est appliquée de manière aléatoire avec `np.random.choice()`, ce qui reflète un scénario réaliste.

Calcul du niveau de survie

Le niveau de survie S est défini comme le rapport entre la taille de la plus grande composante connexe après panne et le nombre total de nœuds initialement présents : $S = |V_{\max}| / |V| \times 100$

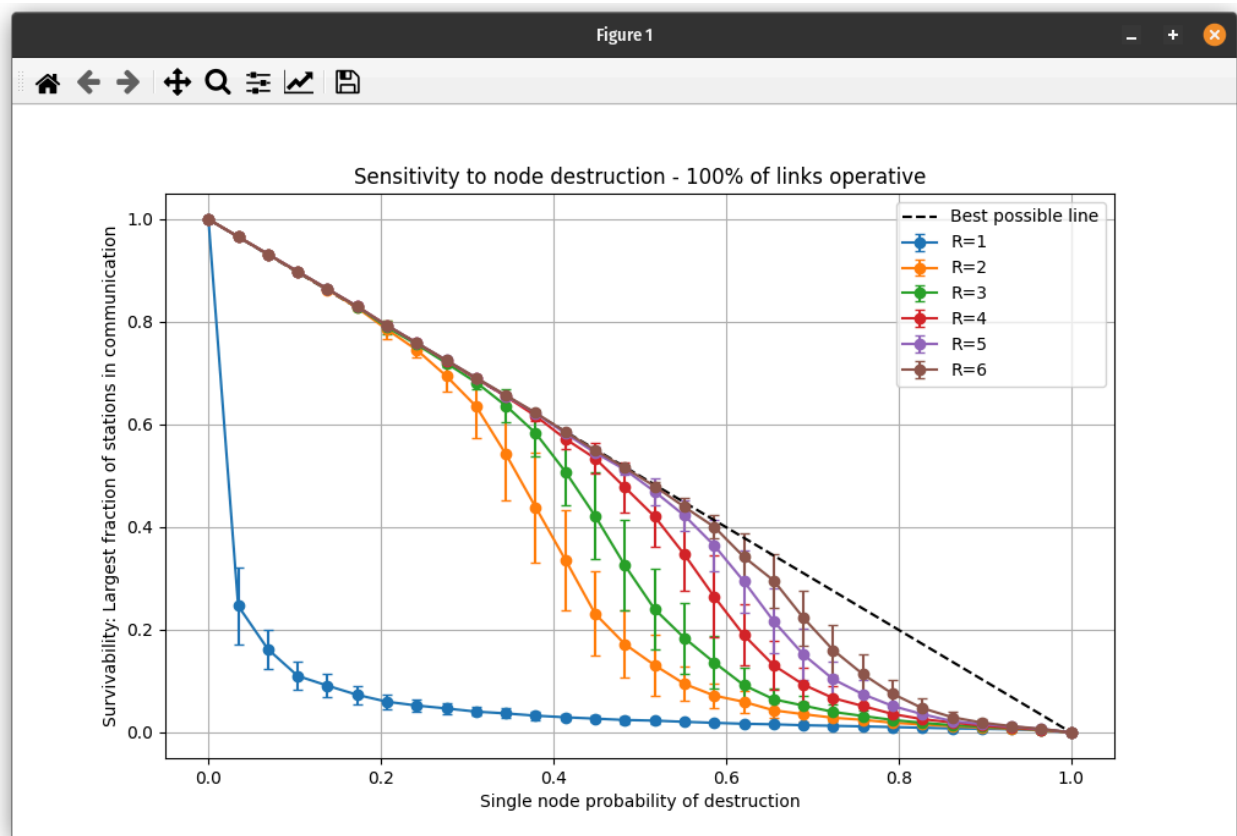
Où :

- $|V_{\max}|$ est le nombre de nœuds dans la plus grande composante connexe après panne.
- $|V|$ est le nombre total de nœuds dans la topologie initiale.

3. Résultats et analyse

Visualisation des résultats

Les résultats sont affichés sous forme de courbes représentant la fraction de stations en communication après panne en fonction de la probabilité de destruction d'un nœud. Chaque courbe correspond à une valeur de R , permettant d'analyser l'évolution de la robustesse en fonction de la redondance du réseau. Voici un exemple de résultat avec 100 simulations :

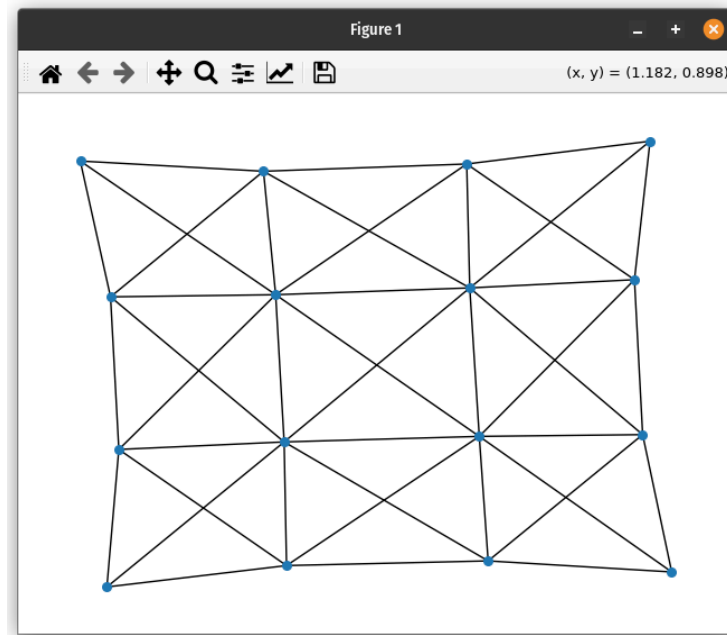


Observations principales

- Plus la redondance R est élevée, plus le réseau est tolérant aux pannes.
- Le gap entre $R = 1$ et $R = 2$ est très important, tandis que ce gap réduit plus R augmente.
- Au-delà d'une certaine redondance, les gains en tolérance sont moins marqués, confirmant que trop de connexions n'apportent qu'un bénéfice moindre.
- La courbe de la "Best Possible Line" illustre le cas théorique optimal où chaque nœud restant forme une seule composante connexe.

Vérification des topologies

Afin de vérifier les algorithmes que j'ai mis en place dans le code principal, j'ai fait un code tout simple permettant l'affichage des topologies souhaitées avec le choix de la redondance et de la taille de la grille. Voici par exemple l'affichage de la topologie $R = 4$ avec une grille de taille 4 :



4. Expérimentations supplémentaires

Impact de la taille du réseau

J'ai testé avec des grilles plus grandes ($30 * 30$) et observé que :

- Les tendances restent similaires, mais les effets des pannes sont plus visibles quand le réseau est petit.
- Un réseau plus grand nécessite plus de simulations pour obtenir une moyenne stable.

Ajout d'un écart-type au graphique

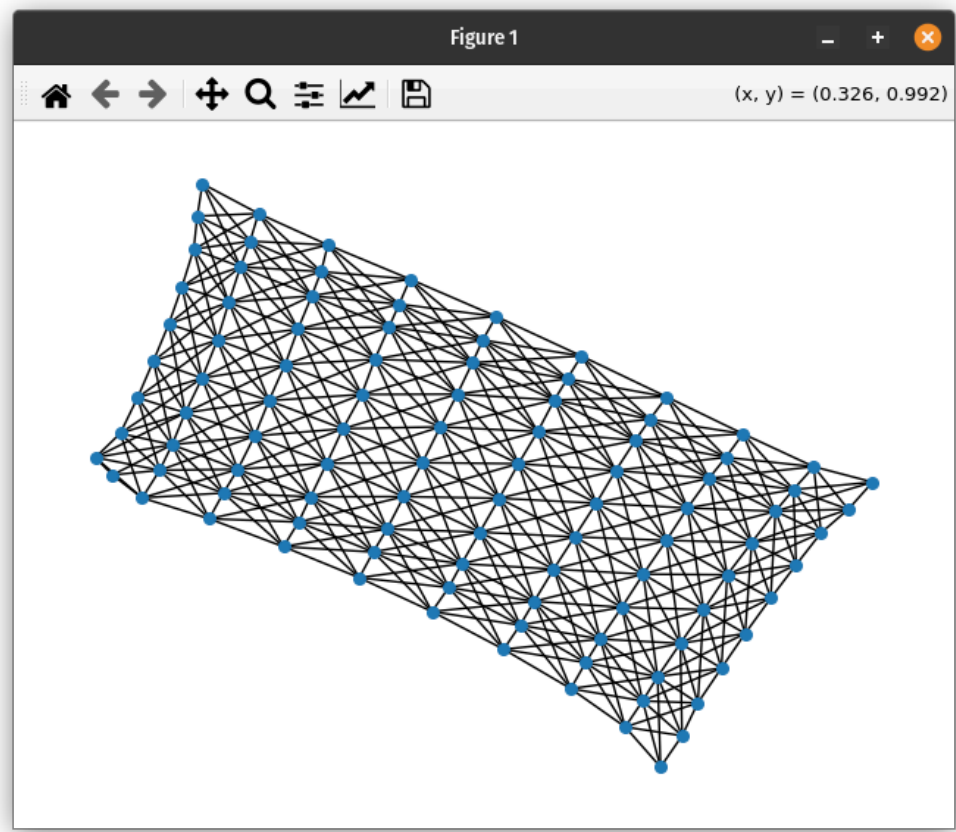
J'ai ajouté l'affichage de l'écart-type sur les résultats du graphique pour mieux visualiser la variabilité des simulations. L'écart-type mesure la dispersion des résultats autour de la moyenne, ce qui permet d'évaluer la stabilité du niveau de survie pour chaque valeur de R. Un écart-type faible signifie que les résultats sont cohérents, tandis qu'un écart-type élevé indique une plus grande sensibilité aux pannes aléatoires.

Ajout de deux topologies supplémentaires

J'ai ajouté aux quatres topologies demandées deux topologies avec $R = 5$ et $R = 6$:

- On voit que plus la redondance est élevée et plus le réseau est complexe, ce qui peut rendre difficile sa gestion globale ainsi que la localisation et l'origine des pannes.
- Comme vu précédemment, le gain en tolérance ne vaut pas forcément le coût au vu de la plus grande complexité.

Voici pour illustrer mon propos une topologie de taille $10 * 10$ avec $R = 6$:



5. Conclusion

Résumé des résultats

Cette simulation a permis de confirmer les observations de Paul Baran :

- Il est possible de construire un réseau extrêmement robuste avec des éléments non fiables, à condition de bien gérer la redondance des connexions.
- Une redondance modérée ($R \approx 4$) suffit pour obtenir une excellente résilience, sans nécessiter un nombre excessif de liens.
- Trop de redondance ($R > 5$) n'apporte qu'un gain marginal en tolérance aux pannes.

Améliorations possibles

- Tester d'autres types de réseaux.
 - Simuler des pannes ciblées (ex : suppression des nœuds les plus centraux au lieu de suppressions aléatoires).
-

6. Annexe : Dépôt Git et instructions

Le code est disponible sur un dépôt Git avec le professeur ajouté en tant que reporter. Pour exécuter la simulation :

Cloner le dépôt

```
git clone https://githopia.hesge.ch/yassin.elhakoun/are_labo0/-/tree/main
```

Exécuter la simulation

```
python simulation.py
```

Les graphiques sont générés automatiquement avec [matplotlib](#).

Merci !