

# Des systèmes naturels aux systèmes urbains: génération de réseaux de transport optimaux par modèle *slime-mould*

J. Raimbault<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> UPS CNRS 3611 ISC-PIF et <sup>2</sup> UMR CNRS 8504 Géographie-cités



## Introduction

- ▶ Méthodes classiques de conception et d'évaluation des infrastructures de transport basée sur scénarios exogènes [Wegener and Fürst, 2004]; optimisation et/ou analyse de données.
- ▶ Ingénierie morphogénétique à la croisée des systèmes auto-organisés et architecturés [Doursat et al., 2012]: application démontrée à la conception d'infrastructures de transports [Bebber et al., 2007].
- ▶ Application d'un modèle de croissance de *slime-mould* à la conception multi-objectifs d'un réseau de transport.

## Modèle

Modèle de croissance d'un *slime-mould* [Tero et al., 2010] : principe *d'exploration puis renforcement*.

Etude de l'aspect renforcement : réseau initial homogène de tubes  $ij$ , longueur  $L_{ij}$ , diamètre variable  $D_{ij}$ , traversés par un flux de fluide  $Q_{ij}$ . Sommets  $i$  à la pression  $p_i$ . Un nombre de noeuds  $N$  sont à desservir, parmi eux aléatoirement à chaque étape l'un est source  $p_{i_+} = l_0$  et l'autre puits  $p_{i_-} = -l_0$

*Itération du modèle :*

1. Détermination des flux par lois de Kirchoff (analogie électrostatique, résolution d'un système fermé) : loi d'Ohm

$$Q_{ij} = \frac{D_{ij}}{L_{ij}} \cdot (p_i - p_j) \quad (1)$$

et conservation des flux

$$\sum_{j \rightarrow i} Q_{ij} = 0, \sum_{j \rightarrow i_{\pm}} Q_{i \pm j} = \pm l_0 \quad (2)$$

2. Evolution du diamètres de tubes ( $\gamma$  paramètre de renforcement)

$$\frac{dD_{ij}}{dt} = \frac{|Q_{ij}|^\gamma}{1 + |Q_{ij}|^\gamma} - D_{ij} \quad (3)$$

Extraction du réseau final après convergence selon un paramètre de seuil de diamètre ou un nombre maximal d'itérations.

## Indicateurs

Comportement du modèle évalué au travers d'indicateurs contradictoires de performance pour le réseau généré :

- ▶ Coût de construction  $c = \sum_{ij \in E_f} D_{ij}(t_f)$
- ▶ Performance moyenne [Banos and Genre-Grandpierre, 2012]

$$v = \frac{1}{|V_f|^2} \sum_{i,j \in V_f} \frac{d_{i \rightarrow j}}{\|\vec{i} - \vec{j}\|}$$

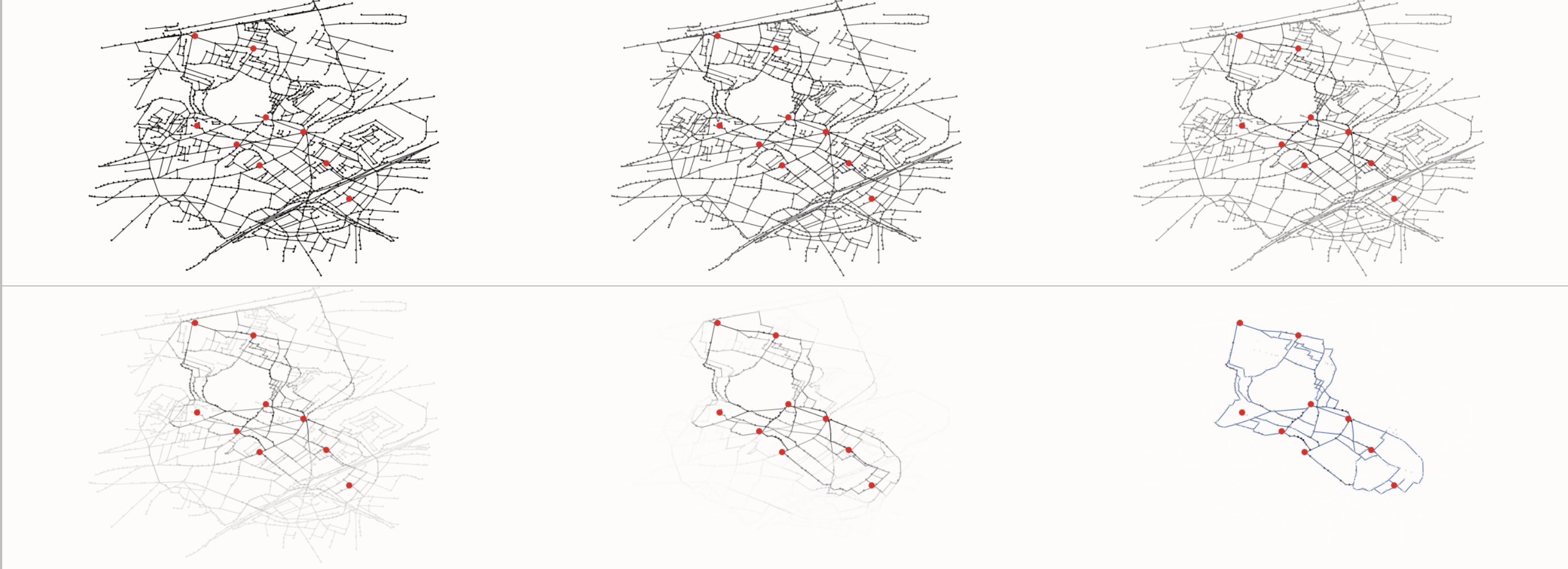
- ▶ Robustesse (indice *Network Trip Robustness*, impact de la suppression des liens [Sullivan et al., 2010])

## Exploration du modèle



## Application : desserte optimale

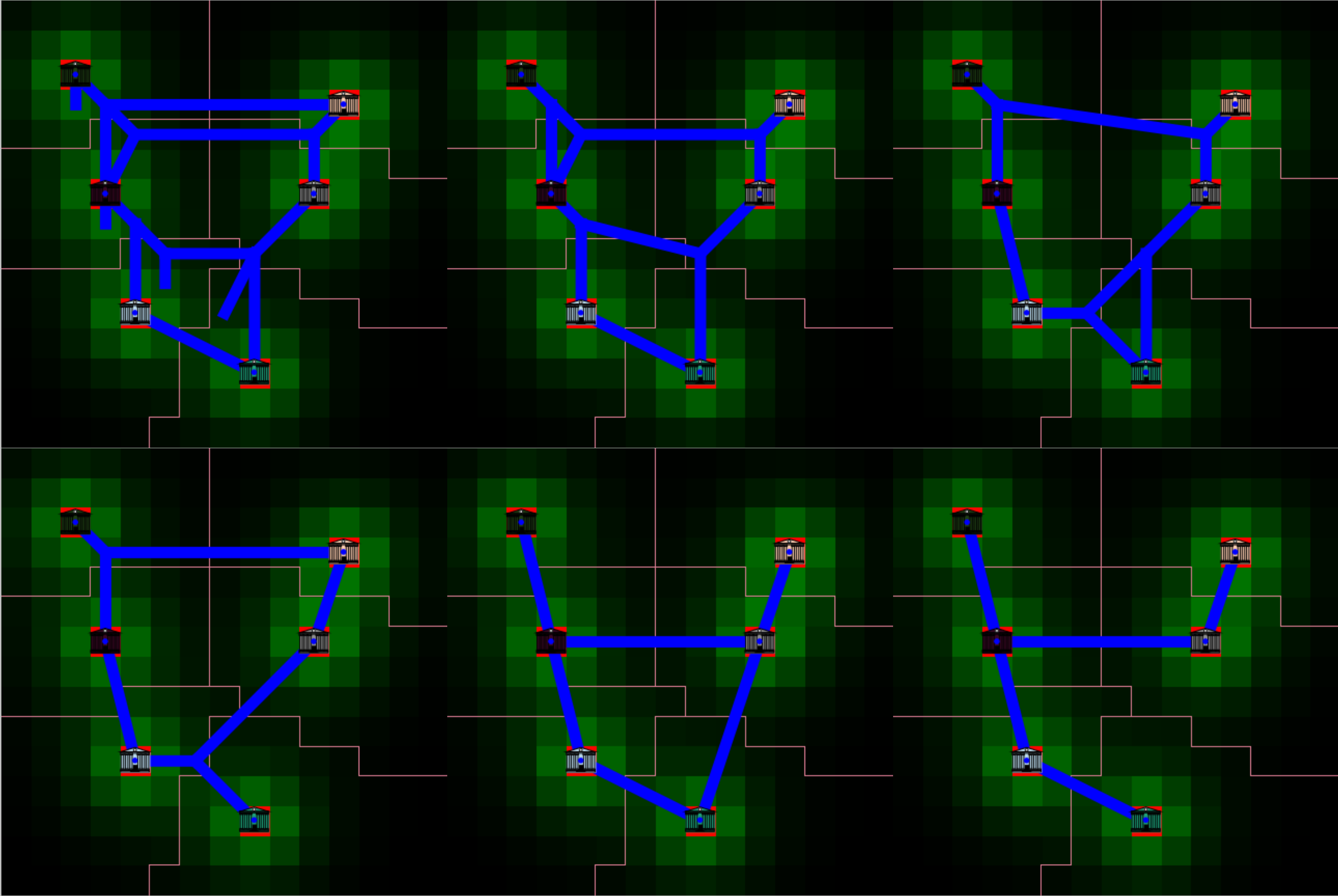
Problème type voyageur de commerce, mais multi-objectif (coût, vitesse, robustesse) : itinéraire de desserte pour une navette intra-urbaine.



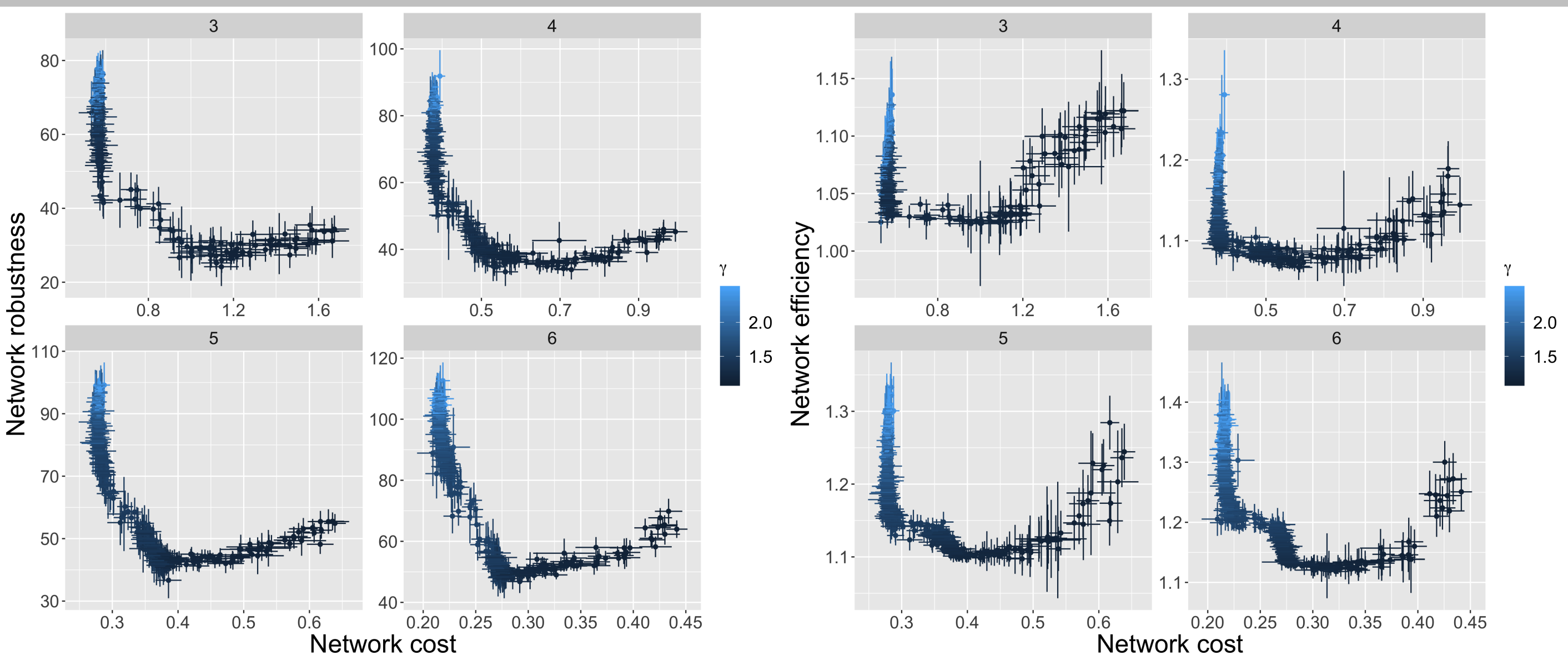
Convergence progressive du réseau vers le réseau optimal desservant les points fixés (en rouge), en partant d'un réseau initial à diamètres égaux (réseau de rues).

## Application : réseaux métropolitains

Dans le cadre d'une configuration métropolitaine polycentrique stylisée [Le Néchet and Raimbault, 2015], comment élaborer automatiquement différents scénarios pour un nouveau réseau de transport ?



Réseaux stylisés obtenus pour des valeurs décroissantes de  $\gamma$ , pour une même configuration de desserte des centres.



Optimisation de Pareto : projection des configurations explorées dans l'espace des indicateurs, obtention du front de Pareto ; configurations correspondant à trois points optimaux.

## References

[Banos, A. and Genre-Grandpierre, C. (2012). Towards new metrics for urban road networks: Some preliminary evidence from agent-based simulations. In *Agent-based models of geographical systems*, pages 627–641. Springer.

[Bebber, D. P., Hynes, J., Darrah, P. R., Boddy, L., and Fricker, M. D. (2007). Biological solutions to transport network design. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1623):2307–2315.

[Doursat, R., Sayama, H., and Michel, O. (2012). Morphogenetic engineering: toward programmable complex systems. Springer.

[Le Néchet, F. and Raimbault, J. (2015). Modeling the emergence of metropolitan transport authority in a polycentric urban region. In *European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*.

[Sullivan, J., Novak, D., Aultman-Hall, L., and Scott, D. M. (2010). Identifying critical road segments and measuring system-wide robustness in transportation networks with isolating links: A link-based capacity-reduction approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(5):323–336.

[Tero, A., Takagi, S., Saigusa, T., Ito, K., Bebbber, D. P., Fricker, M. D., Yumiki, K., Kobayashi, R., and Nakagaki, T. (2010). Rules for biologically inspired adaptive network design. *Science*, 327(5964):439–442.

[Wegener, M. and Fürst, F. (2004). Land-use transport interaction: state of the art. Available at SSRN 1434678.