



HAL
open science

Application de la Morphogenèse de Réseaux Biologiques à la Conception Optimale d'Infrastructures de Transport

Juste Raimbault, Jorge Gonzalez-Suitt

► To cite this version:

Juste Raimbault, Jorge Gonzalez-Suitt. Application de la Morphogenèse de Réseaux Biologiques à la Conception Optimale d'Infrastructures de Transport. Rencontres Dynamite 2015, May 2015, Paris, France. halshs-01860296

HAL Id: halshs-01860296

<https://shs.hal.science/halshs-01860296>

Submitted on 23 Aug 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Introduction

- Conception des infrastructures de transport généralement *top-down* (approche type modèles d'interaction transport-usage du sol [Wegener and Fürst, 2004]).
- Récente introduction des méthodes de *bio-mimétisme* pour le design et le management des systèmes technico-sociaux complexes [Doursat et al., 2012].
- Application efficace aux infrastructures de transports par optimisation multi-objectif (ex. coût, robustesse) émergente [Bebber et al., 2007].
- Dans notre cas, application d'un modèle de morphogénèse de *slime mould* au design optimal de systèmes de transport.

Modèle

Modèle proposé dans [Tero et al., 2010] : principe d'*exploration puis renforcement* pour une moisissure à la recherche de ressources.

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 (γ 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 (distributions finales généralement bimodales).

Modèle multi-échelle : Dynamique des diamètres supposées constantes pendant l'itération pour obtenir les flux.

Implémentation en NetLogo ouverte [Raimbault and Gonzalez, 2014]

Indicateurs

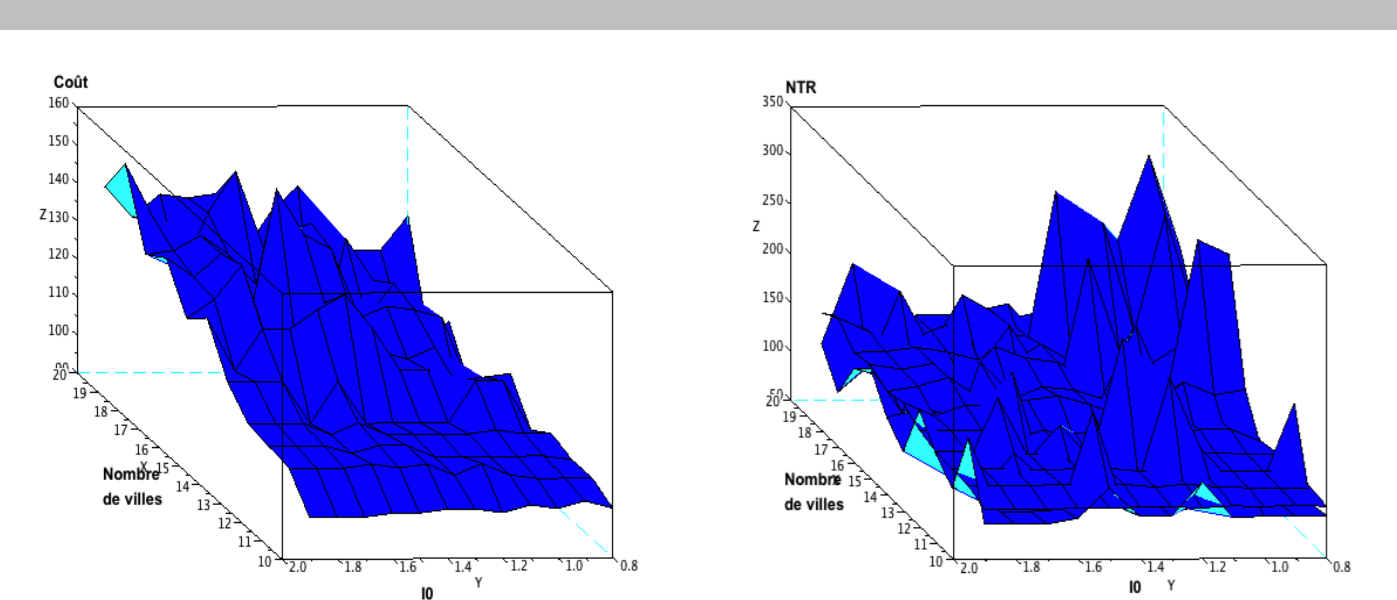
Comportement du modèle évalué au travers d'indicateurs de performance pour le réseau généré (V_f , E_f), qui peuvent être vu comme des objectifs contradictoires :

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

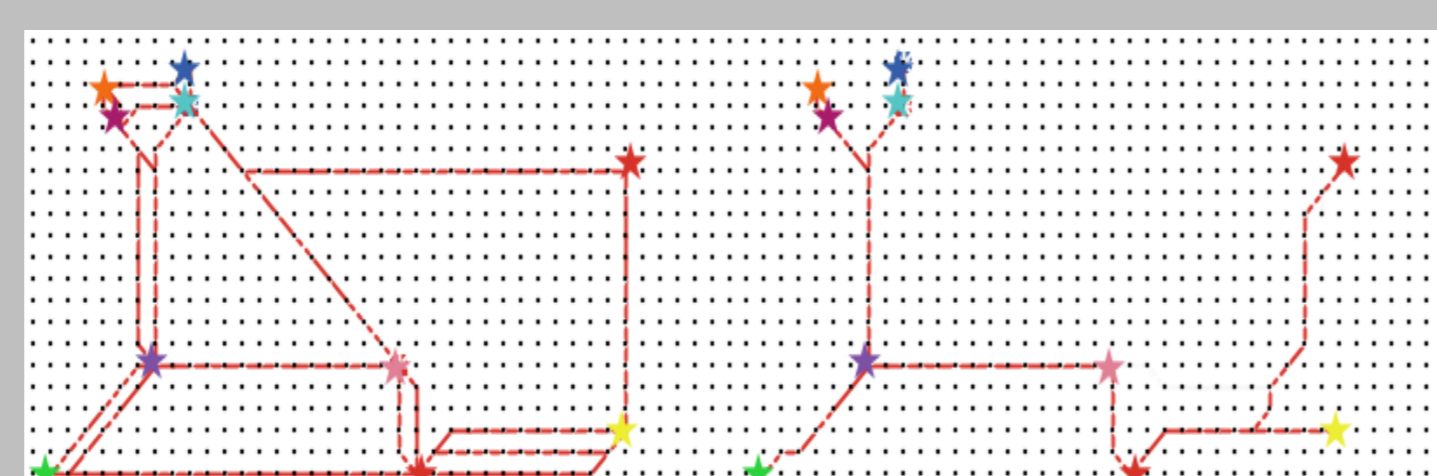
$$v = \frac{1}{|V_f|^2} \sum_{i,j \in V_f} \frac{d_{i \rightarrow j}}{\|\vec{i} - \vec{j}\|}$$

- Robustesse (indice *Network Trip Robustness* [Sullivan et al., 2010])

Analyse de Sensibilité



Sensibilité des indicateurs aux paramètres (N , l_0).

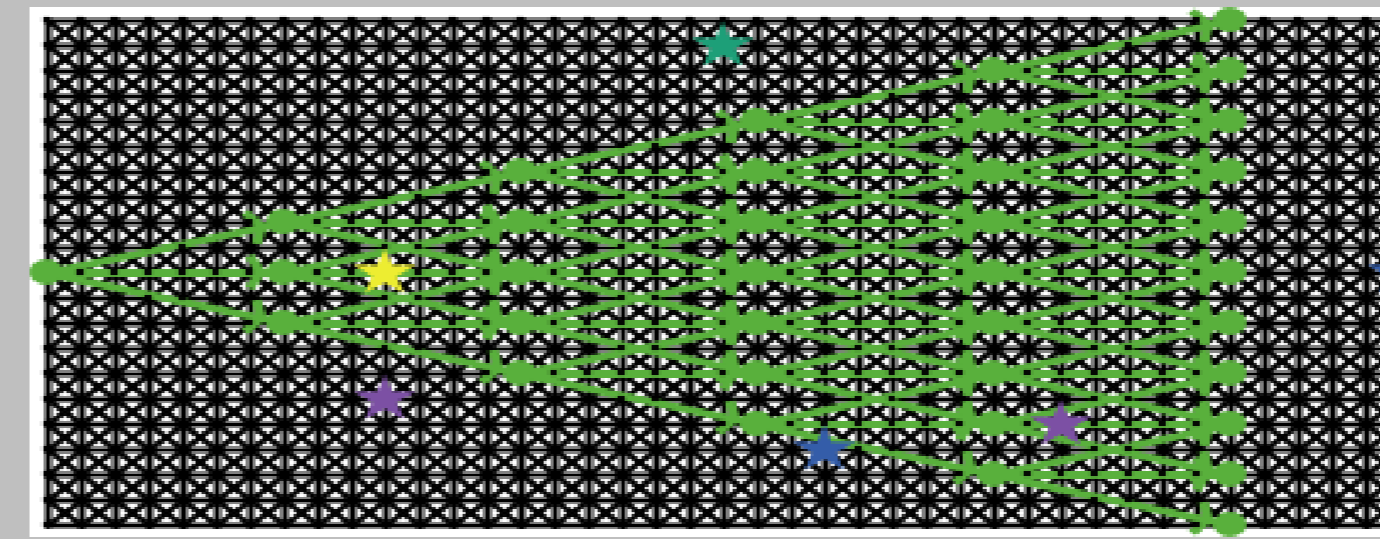


Sensibilité de la topologie du réseau au coefficient de renforcement γ . Gauche : $\gamma \sim 1$, réseau robuste. Droite : $\gamma \gg 1$, réseau arborescent.

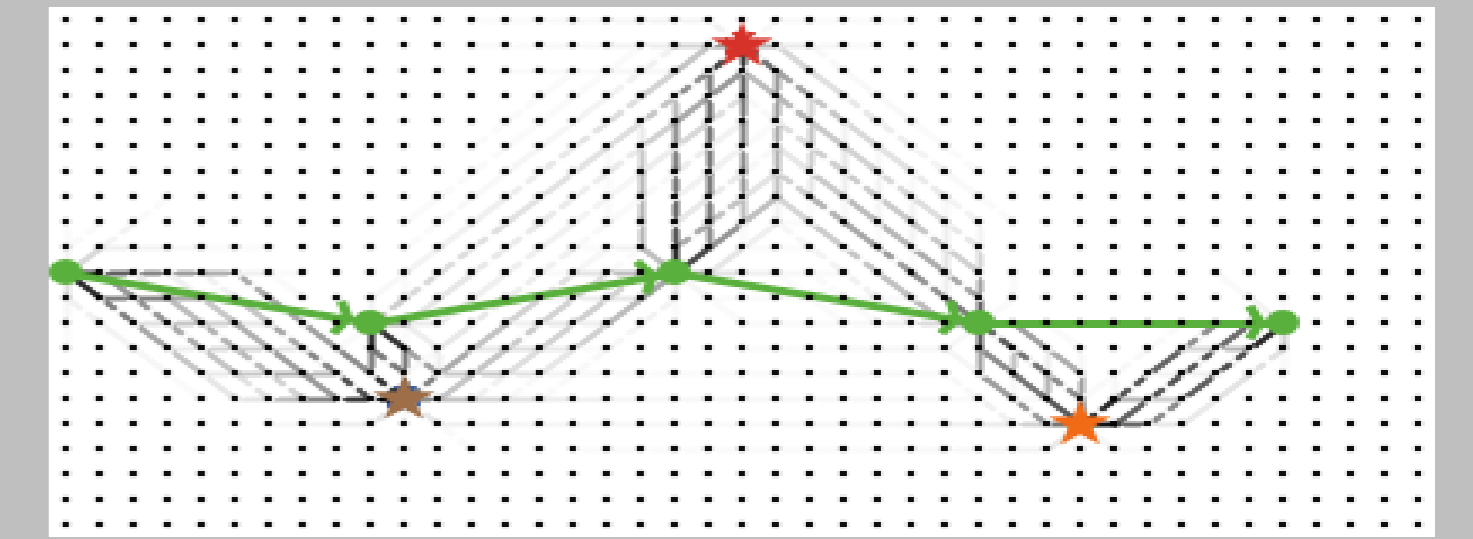
Application : Corridor Optimal

Application abstraite : étant donné une distribution de noeuds à desservir (puits), quel est le corridor optimal pour une infrastructure à plus grande échelle (ex. : réseau ferré) pour laquelle les stations sont considérées comme des sources, au sens de l'optimalité multi-critères du réseau local auto-généré dans ce contexte ?

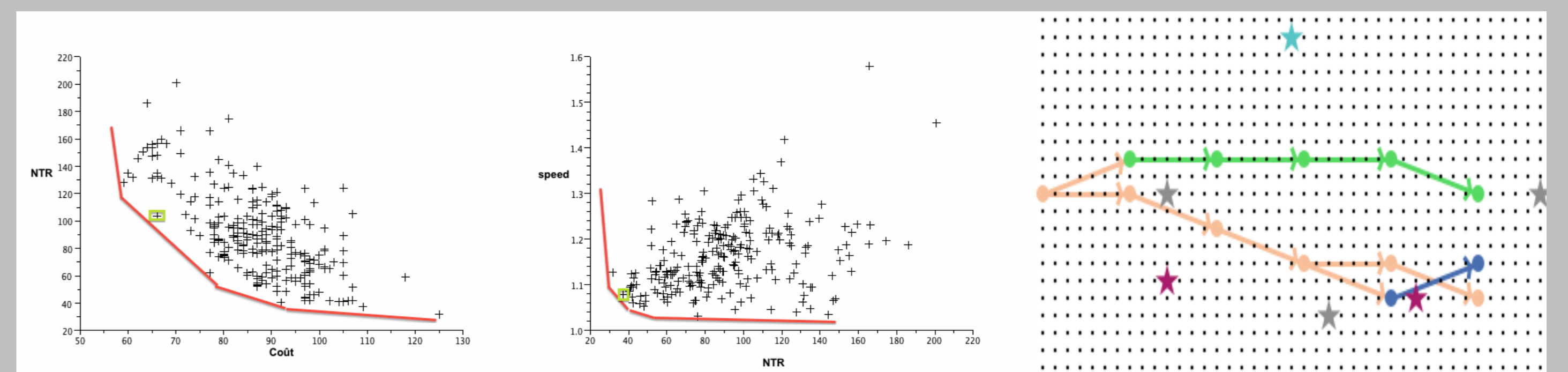
→ Exploration heuristique d'un espace arborescent d'implantations possibles ; obtention des fronts de Pareto pour les différents indicateurs ; choix de solutions optimales au sens de Pareto



Arbre heuristique d'exploration des implantations.



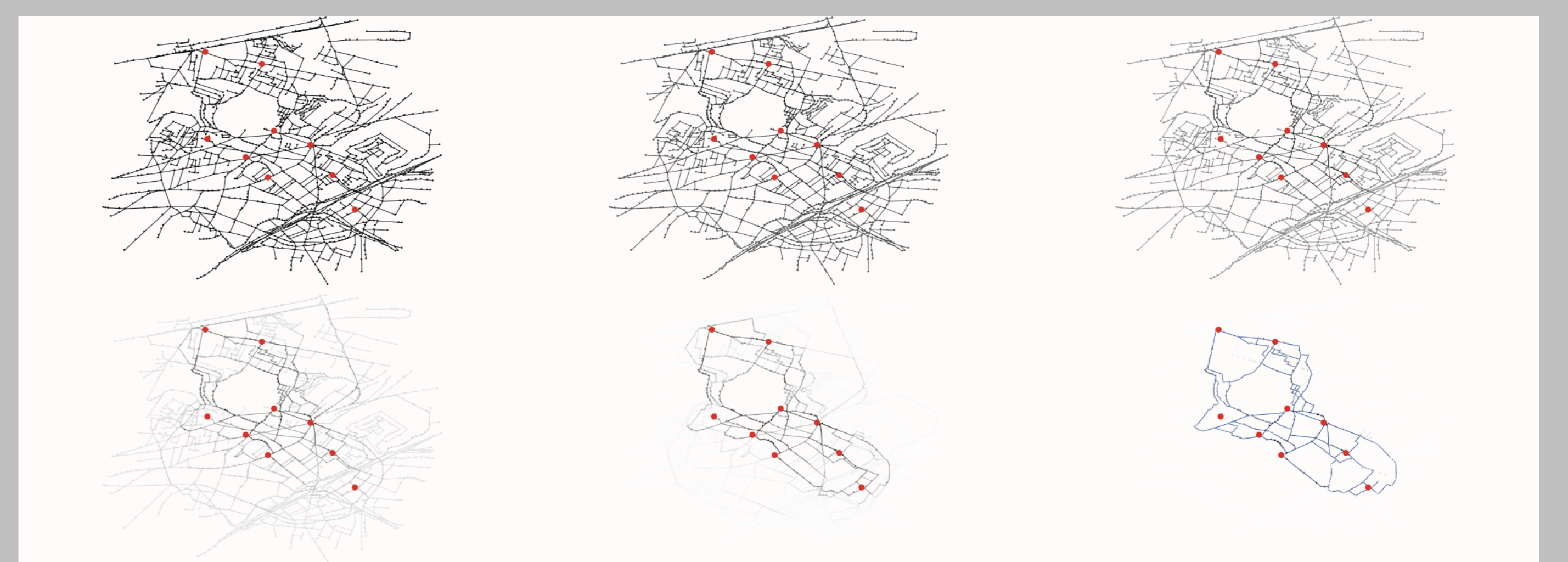
Exemple de réseau en cours de génération pour une implantation donnée.



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

Application : Desserte Optimale

- Mission de prospective pour la mairie de Romainville : itinéraire d'une navette intra-urbaine avec points de desserte imposés.
- Problème type voyageur de commerce, mais multi-objectif (coût, vitesse, robustesse) : la génération de réseau *bottom-up* par application du modèle sur un réseau initial construit par données géographiques réelles (réseau de rues) donne une solution proche du front de Pareto.



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).

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.
- Raimbault, J. and Gonzalez, J. (2014). Network generation implementation at <https://github.com/justeraimbault/networkgeneration>.
- 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.