

# Réseaux viaires et évacuation

Thibaut Démare

Stage de recherche  
Université du Havre

28 juin 2012

# Le Havre - A complex system



(a) A manifestation of Royal de Luxe.



(b) A herring gull.

Figure 1: Many interactions in the complex system.

# Le Havre - A complex system



(a) Seine's estuary.



(b) Port of Le Havre.

Figure 2: Many interactions in the complex system.

# Le Havre - Problems and a difficult management of roads



(a) Bottleneck on Boulevard Winston Churchill.



(b) Industries involve major risks.

Figure 3: Needs to define second itineraries.

# From a city to a road network



(a) Satellite view of the agglomeration of Le Havre.



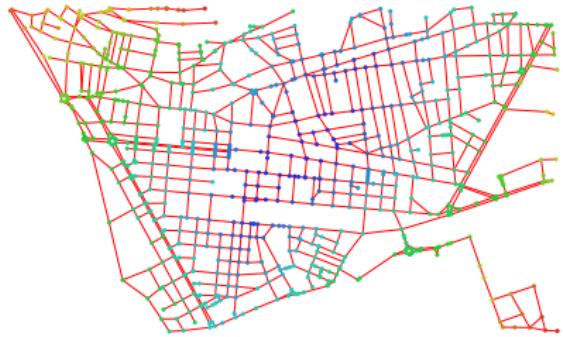
(b) The road network of Le Havre.

Figure 4: Use of the graph theory in order to model the roads of Le Havre and his agglomeration.

# Measures with the intention of identifying critical areas



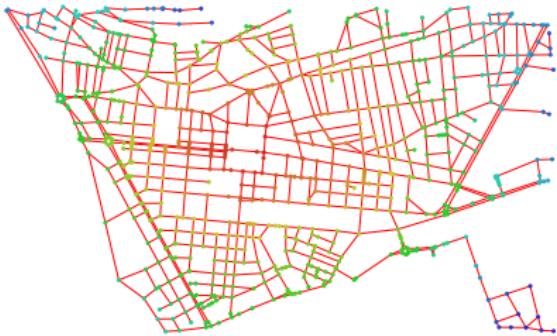
(a) Degree centrality.



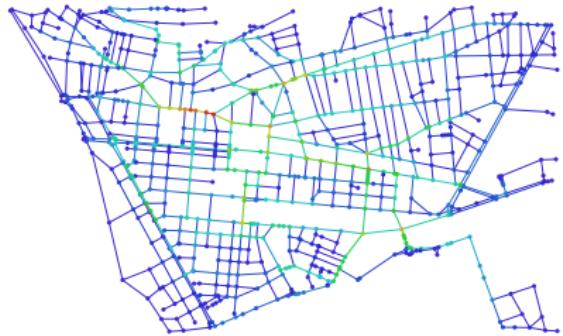
(b) Maximum farness centrality.

Figure 5: Different centralities of the partial and simplified network of Le Havre. From high measures in red to low measures in blue.

# Measures with the intention of identifying critical areas



(a) Closeness centrality.



(b) Betweenness centrality.

Figure 6: Different centralities of the partial and simplified network of Le Havre. From high measures in red to low measures in blue.

# And in a dynamic system ?

where are the dynamics ?

- A road accident which paralyzes the traffic : Wishes to drive around the accident and avoid creating a bottleneck.
- An industrial accident which, for example, generates a toxic wind : The areas is to evacuate quickly.

A part of the network can disappear. A set of nodes and edge can become inaccessible or can be deleted.

## And in a dynamic system ?

What are the need and the problem ?

- The need : we want to update the measure in order to have a new idea of the state of the network.
- The problem : it is very slow and very expensive to compute.

We need robust methods for the dynamic !

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 La centralité intermédiaire avec pivots
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant  $A^*$
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 La centralité intermédiaire avec pivots
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

# La centralité intermédiaire (Freeman, 1977)

## Définition

- $G = (V, E)$  un graphe, tel que  $V$  est l'ensemble de ses sommets avec  $n = |V|$ ,  $E$  est l'ensemble de ses arcs avec  $m = |E|$ .
- $g_{st}(k)$  est le nombre de plus courts chemins entre  $s$  et  $t$  passant par  $k$ .
- $g_{st}$  est le nombre de plus courts chemins entre  $s$  et  $t$ .

$$C_B(k) = \sum_s^n \sum_t^n \frac{g_{st}(k)}{g_{st}}$$

$s \neq t \neq k$

# La centralité intermédiaire (Freeman, 1977)

## Définition

- $G = (V, E)$  un graphe, tel que  $V$  est l'ensemble de ses sommets avec  $n = |V|$ ,  $E$  est l'ensemble de ses arcs avec  $m = |E|$ .
- $g_{st}(k)$  est le nombre de plus courts chemins entre  $s$  et  $t$  passant par  $k$ .
- $g_{st}$  est le nombre de plus courts chemins entre  $s$  et  $t$ .

$$C_B(k) = \sum_s^n \sum_{\substack{t \\ s \neq t \neq k}}^n \frac{g_{st}(k)}{g_{st}}$$

# La centralité intermédiaire (Freeman, 1977)

## Définition

- $G = (V, E)$  un graphe, tel que  $V$  est l'ensemble de ses sommets avec  $n = |V|$ ,  $E$  est l'ensemble de ses arcs avec  $m = |E|$ .
- $g_{st}(k)$  est le nombre de plus courts chemins entre  $s$  et  $t$  passant par  $k$ .
- $g_{st}$  est le nombre de plus courts chemins entre  $s$  et  $t$ .

$$C_B(k) = \sum_s^n \sum_{\substack{t \\ s \neq t \neq k}}^n \frac{g_{st}(k)}{g_{st}}$$

## L'algorithme de calcul (Brandes, 2001)

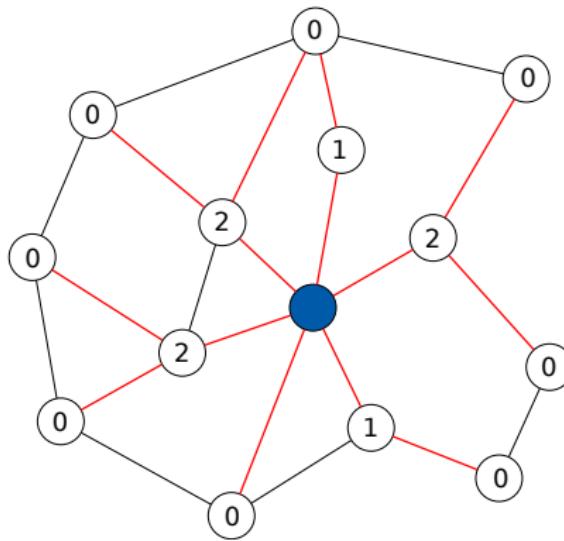


Figure 7: Crédit à la figure 1 de Brandes (2001).

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 **La centralité intermédiaire**
  - Définition et méthode de calcul
  - **Variantes**
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 La centralité intermédiaire avec pivots
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

## Quelques variantes

- Utilisation des flots (Freeman *et al.*, 1991) : les chemins font partie d'une solution de flots maximales.
- K-centralité intermédiaire (Borgatti *et al.*, 2006) : recherche des chemins dont la taille est bornée par K.
- Utilisation de marches aléatoires (Newman, 2005) : les chemins sont déterminés par une marche aléatoire.

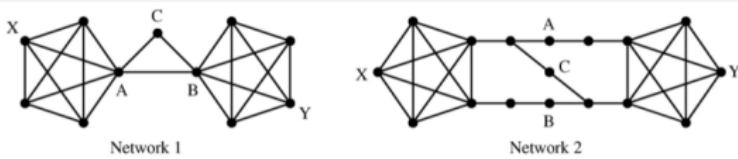


Figure 8: Utilité de la marche aléatoire pour le calcul de centralité intermédiaire selon Newman.

- Et bien d'autres...

## Quelques variantes

- Utilisation des flots (Freeman *et al.*, 1991) : les chemins font partie d'une solution de flots maximales.
- K-centralité intermédiaire (Borgatti *et al.*, 2006) : recherche des chemins dont la taille est bornée par K.
- Utilisation de marches aléatoires (Newman, 2005) : les chemins sont déterminés par une marche aléatoire.

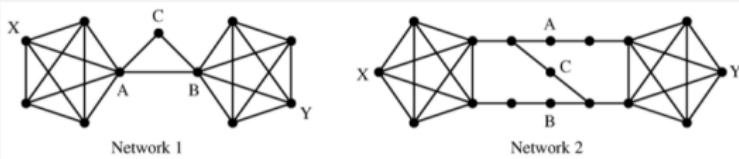


Figure 8: Utilité de la marche aléatoire pour le calcul de centralité intermédiaire selon Newman.

- Et bien d'autres...

## Quelques variantes

- Utilisation des flots (Freeman *et al.*, 1991) : les chemins font partie d'une solution de flots maximales.
- K-centralité intermédiaire (Borgatti *et al.*, 2006) : recherche des chemins dont la taille est bornée par K.
- Utilisation de marches aléatoires (Newman, 2005) : les chemins sont déterminés par une marche aléatoire.

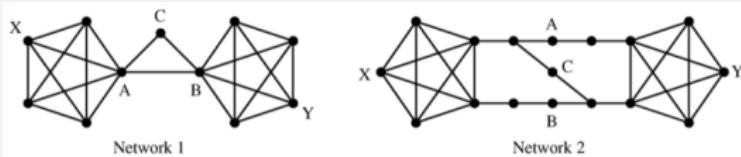


Figure 8: Utilité de la marche aléatoire pour le calcul de centralité intermédiaire selon Newman.

- Et bien d'autres...

## Quelques variantes

- Utilisation des flots (Freeman *et al.*, 1991) : les chemins font partie d'une solution de flots maximales.
- K-centralité intermédiaire (Borgatti *et al.*, 2006) : recherche des chemins dont la taille est bornée par K.
- Utilisation de marches aléatoires (Newman, 2005) : les chemins sont déterminés par une marche aléatoire.

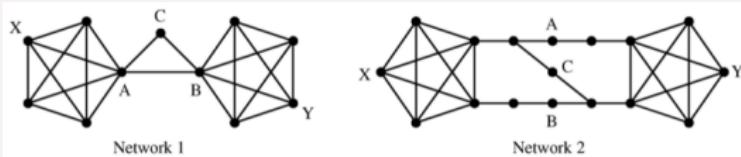


Figure 8: Utilité de la marche aléatoire pour le calcul de centralité intermédiaire selon Newman.

- Et bien d'autres...

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 **La centralité intermédiaire**
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 La centralité intermédiaire avec pivots
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

## Quelques méthodes d'approximation

- Approximation grâce à un nombre restreint de nœuds sources (Brandes, 2007).
- Approximation grâce à un nombre restreint de nœuds sources et l'utilisation de chemins de taille maximale (Alahakoon *et al.*, 2011).

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 La centralité intermédiaire avec pivots
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

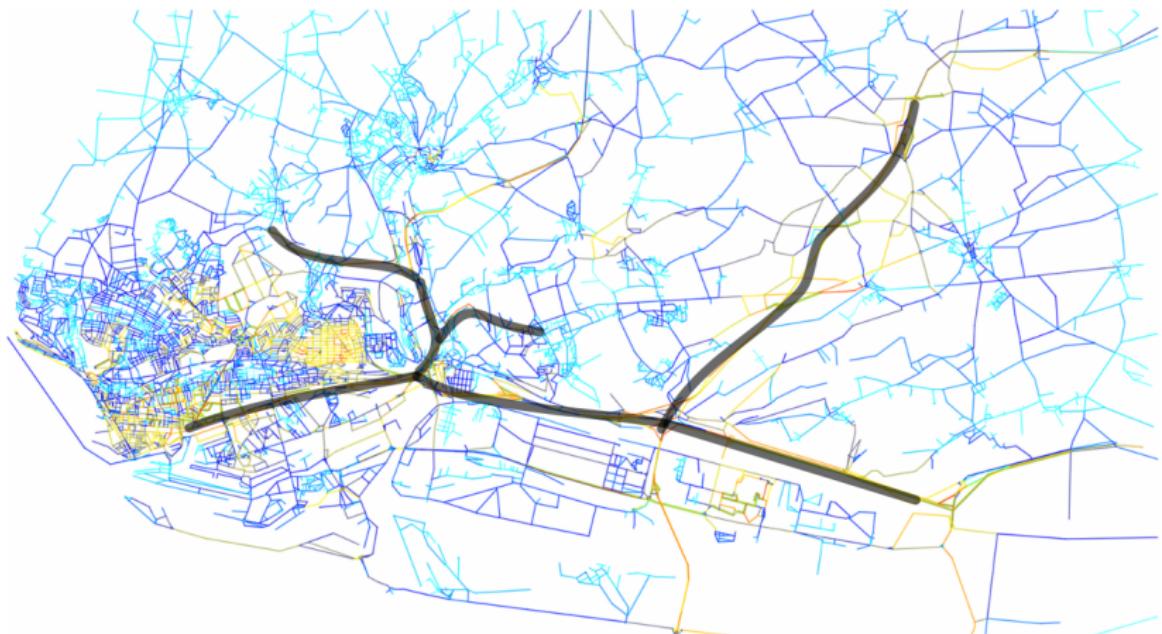


Figure 9: Résultat de la marche aléatoire sur le réseau viaire du Havre issu de la thèse de Michel Nabaa - du non emprunté en bleu clair au congestionné en rouge.



Figure 10: Résultat de la centralité intermédiaire sur le réseau viaire du Havre - de la centralité faible en bleu à la centralité forte en rouge.

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - **La marche aléatoire**
  - Les résultats
- 4 La centralité intermédiaire avec pivots
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

# Le modèle

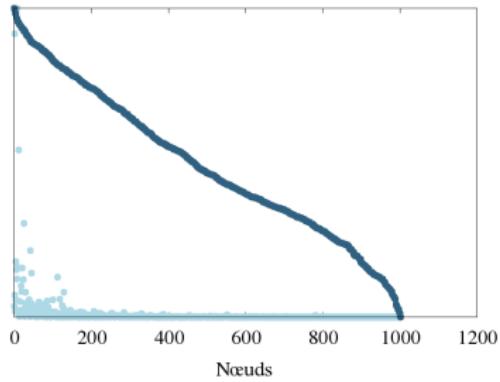
## Fonctionnement

- Des entités effectuent une marche aléatoire, et utilisent un mécanisme tabou.
- L'algorithme continue tant que la stabilité des valeurs n'est pas détectée.

# Plan

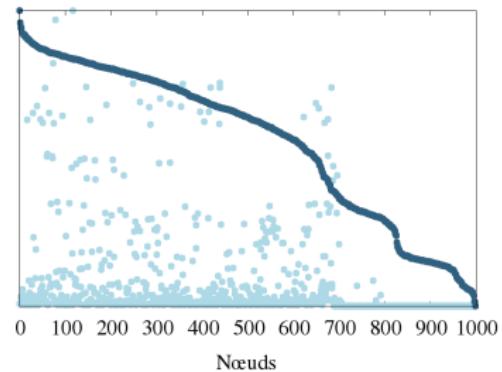
- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 **Les marches aléatoires**
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - **Les résultats**
- 4 La centralité intermédiaire avec pivots
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives



Centralité intermédiaire  
Modèle de marche aleatoire

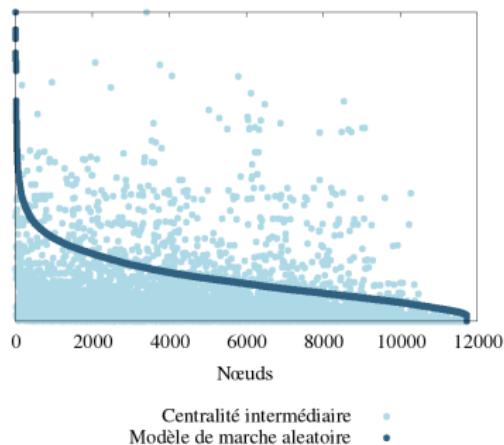
(a) Dorogovtsev et Mendes  
(1000 nœuds) - coefficient de corrélation de Pearson : 0.2405



Centralité intermédiaire  
Modèle de marche aleatoire

(b) Small-world (1000 nœuds,  
 $k = 2$  et  $\beta = 0.5$ ) - coefficient de corrélation de Pearson : 0.2783

Figure 11: En abscisses, il s'agit de la liste ordonnée des nœuds selon la mesure de notre modèle ; en ordonnées, les points sont situés en fonction du score obtenu par l'une ou l'autre des mesures.



(a) Le Havre (11736 nœuds) -  
coefficients de corrélation de  
Pearson : 0.3043

Figure 12: En abscisses, il s'agit de la liste ordonnée des nœuds selon la mesure de notre modèle ; en ordonnées, les points sont situés en fonction du score obtenu par l'une ou l'autre des mesures.

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 **La centralité intermédiaire avec pivots**
  - **Le modèle**
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

## Intuition inspirée du modèle de Brandes (2007)

Le modèle de Brandes montre que :

- Un ensemble de nœuds pivots suffisamment grand permet une corrélation acceptable.
- Certaines paires seraient plus pertinentes que d'autres.

Ainsi, pourquoi ne pas sélectionner aléatoirement les nœuds composants des paires ?

## Intuition inspirée du modèle de Brandes (2007)

Le modèle de Brandes montre que :

- Un ensemble de nœuds pivots suffisamment grand permet une corrélation acceptable.
- Certaines paires seraient plus pertinentes que d'autres.

Ainsi, pourquoi ne pas sélectionner aléatoirement les nœuds composants des paires ?

## Intuition inspirée du modèle de Brandes (2007)

Le modèle de Brandes montre que :

- Un ensemble de nœuds pivots suffisamment grand permet une corrélation acceptable.
- Certaines paires seraient plus pertinentes que d'autres.

Ainsi, pourquoi ne pas sélectionner aléatoirement les nœuds composants des paires ?

## Le modèle des pivots

- Un processus maître sélectionne aléatoirement les nœuds des paires.
- Des entités doivent résoudre des plus courts chemins entre les nœuds de ces paires.

Mais quel comportement au sein de l'entité ?

## Le modèle des pivots

- Un processus maître sélectionne aléatoirement les nœuds des paires.
- Des entités doivent résoudre des plus courts chemins entre les nœuds de ces paires.

Mais quel comportement au sein de l'entité ?

## Le modèle des pivots

- Un processus maître sélectionne aléatoirement les nœuds des paires.
- Des entités doivent résoudre des plus courts chemins entre les nœuds de ces paires.

Mais quel comportement au sein de l'entité ?

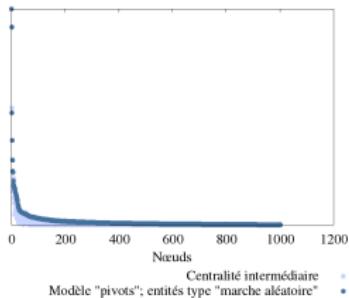
# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

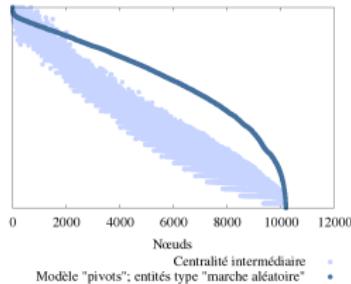
- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 **La centralité intermédiaire avec pivots**
  - Le modèle
  - **Les entités effectuant des marches aléatoires**
  - Les entités utilisant A\*
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

## Fonctionnement

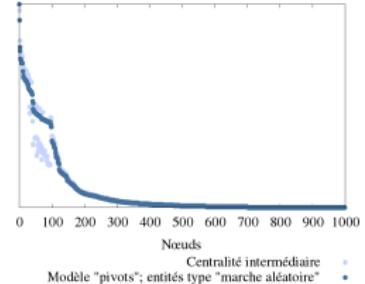
- L'entité commence sur le nœud source d'une paire.
- Elle doit ensuite se déplacer de nœud en nœud par sélection aléatoire.
- Elle s'arrête lorsqu'elle atteint le nœud cible.



(a) Dorogovtsev et Mendes (1000 nœuds) - coefficient de corrélation de Pearson : 0.9668

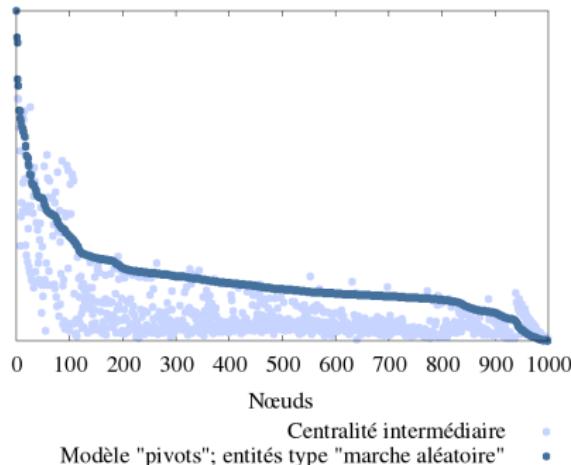


(b) Grille (10000 nœuds) - coefficient de corrélation de Pearson : 0.9368



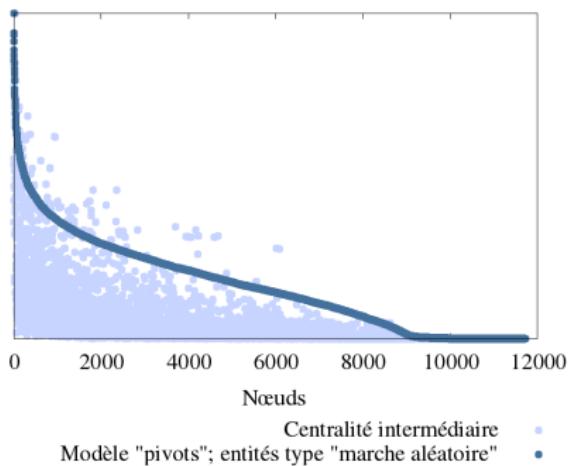
(c) Small-world (1000 nœuds,  $k = 2$  et  $\beta = 0.5$ ) - coefficient de corrélation de Pearson : 0.9737

Figure 13: En abscisses, il s'agit de la liste ordonnée des nœuds selon la mesure de notre modèle ; en ordonnées, les points sont situés en fonction du score obtenu par l'une ou l'autre des mesures.

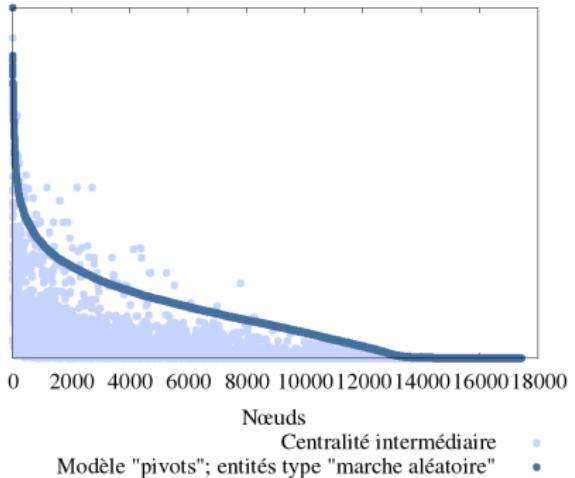


(a) Small-world (1000 nœuds,  
 $k = 4$  et  $\beta = 0.01$ ) - coefficient de  
corrélation de Pearson : 0.7964

Figure 14: En abscisses, il s'agit de la liste ordonnée des nœuds selon la mesure de notre modèle ; en ordonnées, les points sont situés en fonction du score obtenu par l'une ou l'autre des mesures.



(a) Le Havre (11736 nœuds) -  
coefficient de corrélation de  
Pearson : 0.6481



(b) Rouen (17442 nœuds) -  
coefficient de corrélation de  
Pearson : 0.5805

Figure 15: En abscisses, il s'agit de la liste ordonnée des nœuds selon la mesure de notre modèle ; en ordonnées, les points sont situés en fonction du score obtenu par l'une ou l'autre des mesures.

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

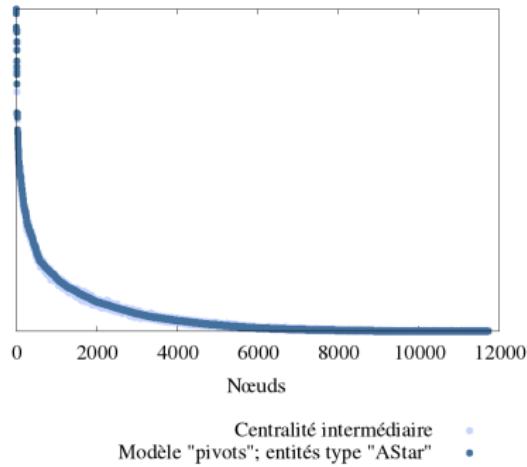
- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 **La centralité intermédiaire avec pivots**
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\***
  - Les entités fourmis
- 5 Conclusion et perspectives

## Fonctionnement

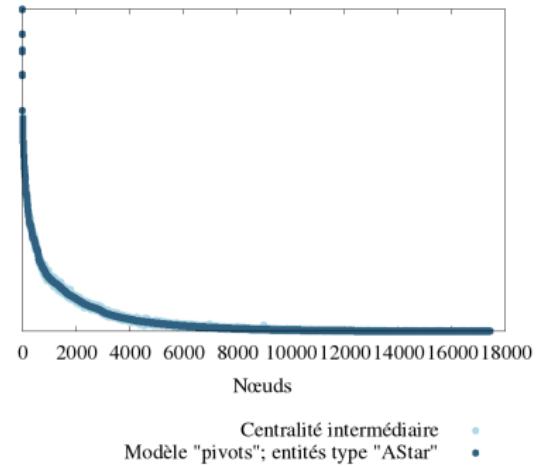
- Volonté de se rapprocher des plus courts chemins.
- Le chemin défini par l'entité est la solution d'une exécution de A\*.

## Fonctionnement

- Nécessite une heuristique monotone et admissible pour calculer un plus court chemin.
- Résultats uniquement sur Le Havre et Rouen.
- Utilisation de la distance euclidienne comme heuristique.



(a) Le Havre (11736 nœuds) - coefficient de corrélation de Pearson : 0.9817



(b) Rouen (17442 nœuds) - coefficient de corrélation de Pearson : 0.9834

Figure 16: En abscisses, il s'agit de la liste ordonnée des nœuds selon la mesure de notre modèle ; en ordonnées, les points sont situés en fonction du score obtenu par l'une ou l'autre des mesures.

# Plan

- 1 A context of evacuation
  - A complex system
  - Toward the graph theory
  - A problem of dynamic
- 2 La centralité intermédiaire
  - Définition et méthode de calcul
  - Variantes
  - Méthodes d'approximation

- 3 Les marches aléatoires
  - Première hypothèse
  - La marche aléatoire
  - Les résultats
- 4 **La centralité intermédiaire avec pivots**
  - Le modèle
  - Les entités effectuant des marches aléatoires
  - Les entités utilisant A\*
  - **Les entités fourmis**
- 5 Conclusion et perspectives

## Fonctionnement

- Inspiré du modèle de Dorigo *et al.*, 1992.
- Modèle d'optimisation à l'aide d'un mécanisme de stigmergie.
- Robuste à la dynamique d'un graphe.

## Fonctionnement

- L'entité se déplace selon une marche aléatoire biaisée par des phéromones selon :

$$p_i = \frac{\tau_i^\alpha \cdot \eta_i^\beta}{\sum_{j=1}^k \tau_j^\alpha \cdot \eta_j^\beta}$$

- Elle pose des phéromones sur son chemin, en fonction de la distance parcourue selon :

$$\tau_s = \tau_s + \frac{Q}{l(C)}$$

## Fonctionnement

- L'entité se déplace selon une marche aléatoire biaisée par des phéromones selon :

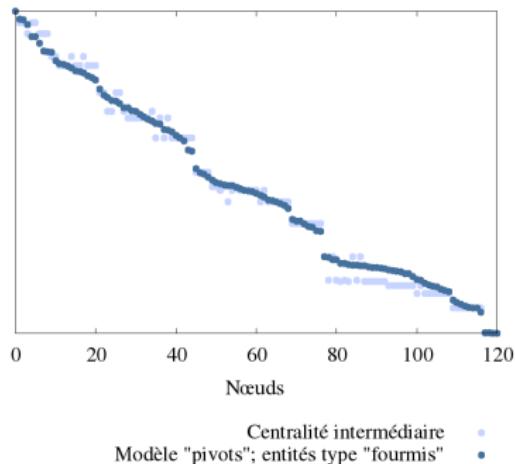
$$p_i = \frac{\tau_i^\alpha \cdot \eta_i^\beta}{\sum_{j=1}^k \tau_j^\alpha \cdot \eta_j^\beta}$$

- Elle pose des phéromones sur son chemin, en fonction de la distance parcourue selon :

$$\tau_s = \tau_s + \frac{Q}{l(C)}$$

## Fonctionnement

- Le processus maître gère un mécanisme d'évaporation de la phéromone.
- Il gère également l'ensemble de la colonie et les paires de nœuds.



(a) Grille (100 nœuds)

Figure 17: En abscisses, il s'agit de la liste ordonnée des nœuds selon la mesure de notre modèle ; en ordonnées, les points sont situés en fonction du score obtenu par l'une ou l'autre des mesures.

## Conclusion

- L'essai manqué de la marche aléatoire classique.
- L'approche de la centralité intermédiaire avec pivots.
- Un résultat prometteur pour l'entité fourmi.

## Perspectives

- Continuer l'implémentation de l'entité fourmi.
- Rechercher une méthode plus élaborées de sélection des paires.
- Définir le nombre de paires nécessaires pour obtenir une corrélation "correcte".
- Distribuer l'algorithme.

Merci de votre attention.  
Souhaitez-vous poser des questions ?