

# Structure et dynamique des réseaux

## Cours 11 : La dynamique des liens dans les réseaux de contacts Analyse et modélisation

Clémence Magnien, Lionel Tabourier, Fabien Tarissan

LIP6 – CNRS et Université Pierre et Marie Curie

`prenom.nom@lip6.fr`

## Emploi du temps

Modifications des cours/TP des prochaines semaines :

- mardi 9 décembre : pas de changement
- mardi 16 décembre : cours de 13h45 à 15h45 - pas de TP
- mardi 13 janvier : cours de 13h45 à 15h45 - pas de TP
- mardi 20 janvier : cours de 13h45 à 15h45 puis TP de 16h à 18h
- mercredi 28 janvier : 4h de TP le matin

# Plan du cours

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 **Analyse de la dynamique**
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 **Conclusions et perspectives**

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 Analyse de la dynamique
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 Conclusions et perspectives

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 Analyse de la dynamique
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 Conclusions et perspectives

## Rappel du contexte

# Aspect dynamique des réseaux

### *Motivation :*

- Explosion des équipements mobiles
- Beaucoup de jeux de données accessibles récemment
- Propriétés structurelles nouvelles
- Re-définition des métriques habituelles (graphe)

### *Problématiques :*

- Comment acquérir des connaissances sur cet objet ? (**mesure**)
- Quelles propriétés remarquables ? (**analyse**)
- **Quels modèles capturent le mieux ces propriétés ? (modélisation)**

## Rappel du contexte

### *Le type de réseaux étudié :*

- Équipements mobiles  $\rightarrow$  entités en mouvement
- Liens = proximité entre nœuds du réseau (fixé)
- Apparition et disparition de liens

$\Rightarrow$  Un bon outil pour décrire cet objet : **les graphes (dynamiques)**

### *Tirer parti des propriétés dynamiques pour :*

- Proposer des protocoles de communications efficaces
- Assurer la robustesse des réseaux de communications

$\Rightarrow$  Besoin de (nouveaux) outils pour analyser, modéliser

# L'objectif du cours

## *L'existant :*

- Des études sur la partie analyse [CHA07, TOU09]
- Peu proposent des modèles mais récemment : [CLE08, CLE09]

## *Base pour l'étude de protocole de diffusion :*

- de type *inondation* [BAU09, CLE10]
- de type *push* [CLE13]

Dans ce cours : est-ce que le modèle est réaliste ?



# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - **Modèle markovien**
  - Jeux de données
- 2 Analyse de la dynamique
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 Conclusions et perspectives

# Modèle de graphes évolutifs par arête-markovienne

## *La base :*

- Modèle de **graphe évolutif** : récent [FER02]
- Graphe évolutif = Succession de graphes  $G_0, G_1, \dots$  avec  $V$  fixé
- Contient toute sorte de dynamique

## *Variante de l'évolution par arête-markovienne*

- Dépendance temporelle dans l'évolution du graphe
- $G_{t+1}$  déterminé par  $G_t$  et deux paramètres :
  - $p$  : probabilité d'apparition d'une arête non existante
  - $d$  : probabilité de disparition d'une arête existante

## Exemple

Exemple avec 4 nœuds,  $p = 0.3$  et  $d = 0.2$  et 5 unités de temps.

1	3	2	3
1	4	0	3
2	3	0	2
2	3	3	3
2	4	0	2
2	4	4	4
3	4	1	3

- 1ère et 2nde colonne : identifiants des nœuds impliqués
- 3ème colonne : début du contact
- 4ème colonne : fin du contact

## Avantages / inconvénients

### *Intérêt double :*

- $\forall G_0, p, d$  : converge vers un graphe Erdős Rényi avec  $\hat{p} = \frac{p}{p+d}$
- Peu de paramètres  $\implies$  études théoriques

### *C'est aussi sa faiblesse :*

- 2 paramètres pour régir **toutes** les apparitions/disparitions
- Suppose que ces 2 valeurs sont représentatives pour l'**ensemble** de l'évolution du réseau

# Méthodologie

*But du cours* : vérifier si c'est effectivement le cas et si non, quel impact a le modèle.

- Analyse des propriétés dynamiques de 6 jeux de données
- Comparaison avec le modèle markovien

*Éléments de réponses* :

- Oui pour [WH11] (et [VOJ11]) mais ...
- ... étude faite sur 1 jeu de donnée
- ... le critère de comparaison est faible : temps d'inondation

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 Analyse de la dynamique
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 Conclusions et perspectives

# Rollernet

- Randonnée roller à Paris
- Date : août 2006.
- Durée : 3h avec une pause de 30 min et couvre environ 30km,
- Lieu : dans les rue de Paris (ralentissements et accélérations lors des passages aux feux)
- Technologie : *iMotes* (bluetooth)
- Taille : 62 participants
- Fréquence : toutes les 15s.

## Infocom06

- Expériences faites lors de la conférence Infocom à Barcelone.
- Date : avril 2006
- Durée : 3 jours
- Technologie : *iMote*
- Taille : 98 capteurs (78 participants, 17 statiques, et 3 dans les ascenseurs)
- Fréquence : toutes les 120s.



# Sociopattern

- Exposition sur la propagation des infections.
- Date : 2009
- Durée : 3 mois
- Technologie : *radio bagdes*
- Taille : 88 à 410 (dépend des jours)
- Fréquence : toutes les 20 s.

## 6 cas d'études

Jeu de données	RollerNet	Infocom05	Infocom06	HT09	Socio	PMTR
Durée	3 heures	4 jours	4 jours	2,5 jours	1 jour	10 jours
Participants	62	41	98	113	151	44
Contacts	60 146	17 682	148 784	9 865	2 051	11 895
Fréquence (sec.)	15	120	120	20	20	1

*Pour chacune :*

- Réseaux de contacts " physique" entre individus
- Chaque individu est équipé d'un dispositif
- Détection entre dispositifs si proximité (2 à 10 m.)
- Fréquence de détection varie, durée de l'expérience aussi

*Dans le reste du cours, 3 jeux seulement :*

- RollerNet
- Infocom06 : similaire à Infocom05
- SocioPattern : similaire à HT09 et PMTR

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 **Analyse de la dynamique**
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 **Conclusions et perspectives**

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 **Analyse de la dynamique**
  - **Méthodologie**
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 **Conclusions et perspectives**

## Ce que nous allons faire

*Pour chaque jeux de données et pour chaque instant de temps :*

- la fraction de liens créés (pour liens possibles)
- la fraction de liens supprimés (pour liens existants)

*Correspond aux  $p$  et  $d$  du modèle*

*Analyse :*

- Évolution au cours du temps
- Distribution des valeurs
- Génération de graphes artificiels avec modèle markovien (calibré avec  $p$  et  $d$  moyen)
- Comparaison graphes réels/artificiels sur degré moyen

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 **Analyse de la dynamique**
  - Méthodologie
  - **Dynamique des liens**
  - Impact du modèle markovien
- 3 **Conclusions et perspectives**

## Liens créés

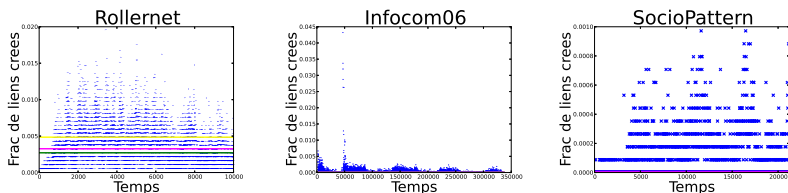


FIGURE : Évolution de la proportion de liens créés

- Rollernet : notion de moyenne pertinente
- Infocom06, SocioPattern : intervalle de valeurs grand
- Infocom06, SocioPattern : moyenne, médiane et 75-centile écrasé par les faibles valeurs,
- $\implies$  Infocom06, SocioPattern : irréaliste

## Liens créés

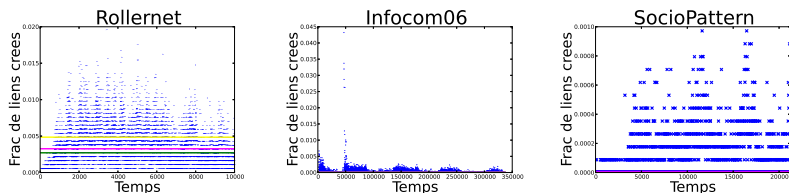


FIGURE : Évolution de la proportion de liens créés

- RollerNet : notion de moyenne pertinente
- Infocom06, SocioPattern : intervalle de valeurs grand
- Infocom06, SocioPattern : moyenne, médiane et 75-centile écrasé par les faibles valeurs,
- $\implies$  Infocom06, SocioPattern : irréaliste



## Liens supprimés

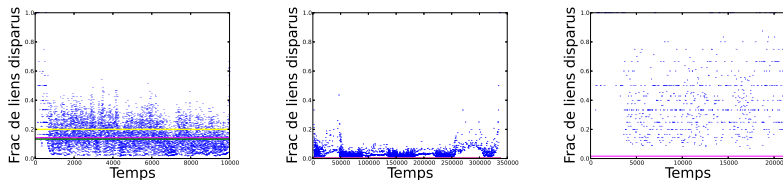


FIGURE : Évolution de la proportion de liens supprimés

- Même constat mais exacerbé
- Intervalle des valeurs complet
- Cas particulier de  $d = 1$

## Liens supprimés

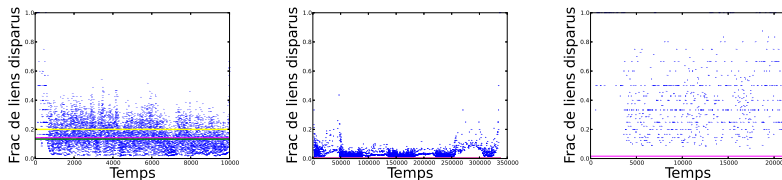


FIGURE : Évolution de la proportion de liens supprimés

- Même constat mais exacerbé
- Intervalle des valeurs complet
- Cas particulier de  $d = 1$

## Distribution des valeurs

Jeu de données	RollerNet	Infocom06	Socio
Fractions de liens créés (moyenne)	3.2 ( $10^{-3}$ )	9.5 ( $10^{-5}$ )	9 ( $10^{-6}$ )
Fractions de liens supprimés (moyenne)	1.4 ( $10^{-1}$ )	4.5 ( $10^{-3}$ )	1.6 ( $10^{-2}$ )

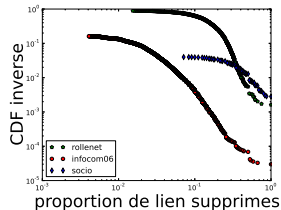
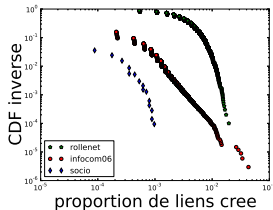


FIGURE : Distribution cumulative inverse des fractions

- Clairement hétérogène pour Infocom06 (et SocioPattern?)
- Loi de puissance pour Infocom06 sur plusieurs ordres de grandeurs
- RollerNet : inclinaison brutale de la courbe au niveau du  $p$  moyen

## Distribution des valeurs

Jeu de données	RollerNet	Infocom06	Socio
Fractions de liens créés (moyenne)	3.2 ( $10^{-3}$ )	9.5 ( $10^{-5}$ )	9 ( $10^{-6}$ )
Fractions de liens supprimés (moyenne)	1.4 ( $10^{-1}$ )	4.5 ( $10^{-3}$ )	1.6 ( $10^{-2}$ )

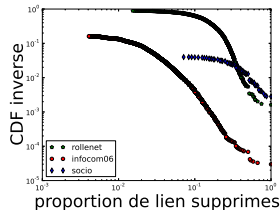
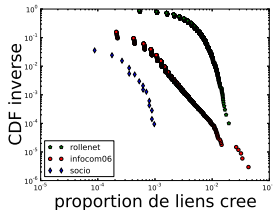


FIGURE : Distribution cumulative inverse des fractions

- Clairement hétérogène pour Infocom06 (et SocioPattern ?)
- Loi de puissance pour Infocom06 sur plusieurs ordres de grandeurs
- RollerNet : inclinaison brutale de la courbe au niveau du  $p$  moyen

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 **Analyse de la dynamique**
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - **Impact du modèle markovien**
- 3 **Conclusions et perspectives**

# Évolution du degré moyen

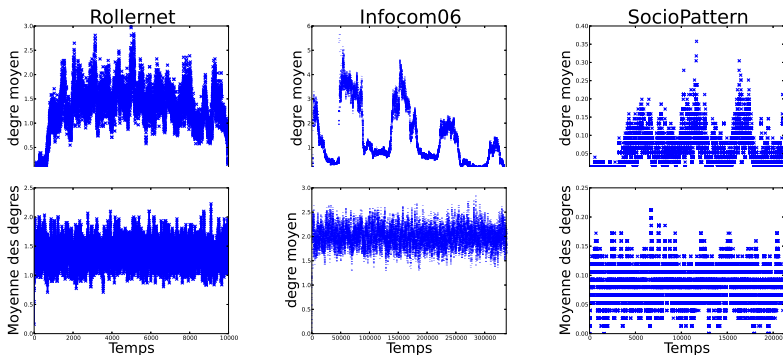


FIGURE : Évolution du degré moyen

- Uniformisation pour Infocom06 et SocioPattern (échelle différente!)
- Semble avoir peu d'impact sur RollerNet
- Sauf aux premiers instants (normal)

# Évolution du degré moyen

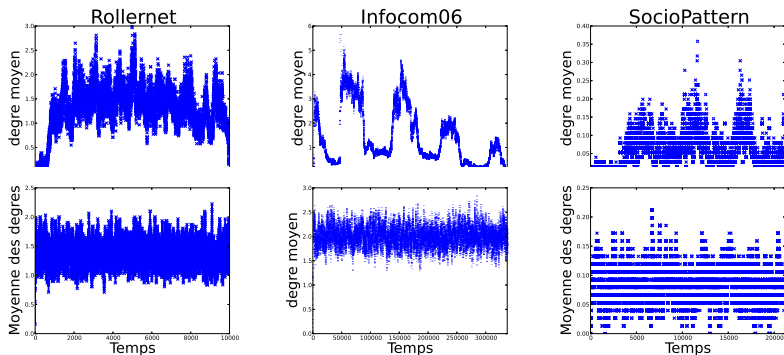


FIGURE : Évolution du degré moyen

- Uniformisation pour Infocom06 et SocioPattern (échelle différente !)
- Semble avoir peu d'impact sur RollerNet
- Sauf aux premiers instants (normal)

## Distribution des degrés

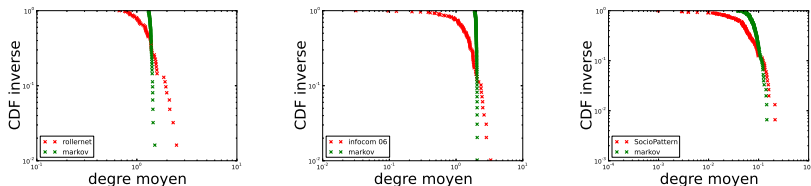


FIGURE : Distribution cumulative inverse du degré moyen

- Infocom06 et SocioPattern : différences entre modèle et réel (attendu)
- RollerNet : différences également



## Distribution des degrés

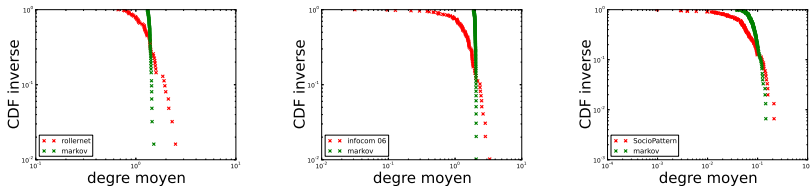


FIGURE : Distribution cumulative inverse du degré moyen

- Infocom06 et SocioPattern : différences entre modèle et réel (attendu)
- RollerNet : différences également

## Distribution des degrés

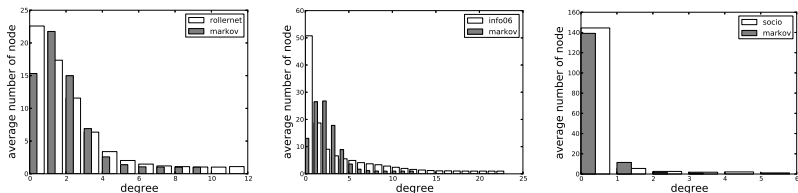


FIGURE : Répartition du degré moyen sur les nœuds

fraction moyenne pertinente  $\nrightarrow$  le modèle reproduit bien  
**globalement** les propriétés du réseaux !

## Répartition et fréquence des degrés

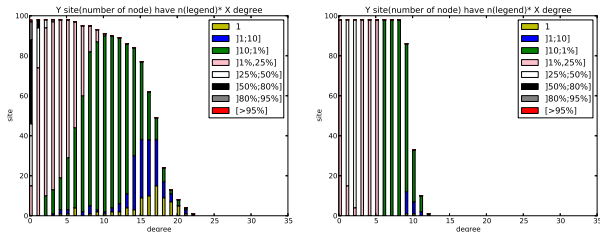


FIGURE : Répartition et fréquence du degré moyen pour Infocom

- Jeux de données : petits degrés sur-représentés
- Modèle : aucun nœud n'apparaît plus de 50% du temps avec le même degré.

## Répartition et fréquence des degrés

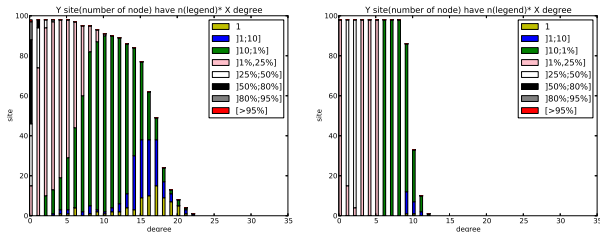
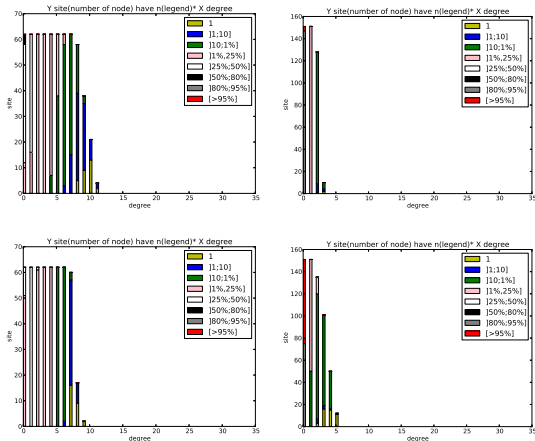


FIGURE : Répartition et fréquence du degré moyen pour Infocom

- Jeux de données : petits degrés sur-représentés
- Modèle : aucun nœud n'apparaît plus de 50% du temps avec le même degré.

## Répartition et fréquence des degrés



**FIGURE :** Répartition et fréquence du degré moyen pour RollerNet (gauche) et Sociopattern (droit)

# Outline

- 1 **Objet d'étude**
  - Réseaux mobiles
  - Modèle markovien
  - Jeux de données
- 2 **Analyse de la dynamique**
  - Méthodologie
  - Dynamique des liens
  - Impact du modèle markovien
- 3 **Conclusions et perspectives**

# Conclusions

## Résumé :

- Confrontation modèle markovien vs. données réelles
- Hypothèse d'homogénéité réfutée dans la plupart des cas
- Même dans le cas favorable, **ne reproduit pas la dynamique !**
- Reste bien sûr très utile : cf [WH11, VOJ11]

## Perspectives :

- Considérer  $p$  et  $d$  qui suivent une loi non homogène ?
- Considérer  $p$  et  $d$  différents pour chaque nœuds ?
- Considérer  $p$  et  $d$  différents en fonction de l'état du graphe ?
- Étudier des propriétés plus fines que le degré moyen (répartition des connexions ?)
- Analyser les corrélations entre apparitions et disparitions.
- Étudier l'impact du modèle sur les protocoles de diffusion.

[WCdA11, CMM<sup>+</sup>08, CPMS09, CMM<sup>+</sup>10, CCD<sup>+</sup>13, TLB<sup>+</sup>09, VP11, CHC<sup>+</sup>07, Fer02, BCF09]



Hervé Baumann, Pierluigi Crescenzi, and Pierre Fraigniaud.

Parsimonious flooding in dynamic graphs.

In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC 2009)*, pages 260–269. ACM, 2009.



Andrea Clementi, Pierluigi Crescenzi, Carola Doerr, Pierre Fraigniaud, Marco Isopi, Alessandro Panconesi, Francesco Pasquale, and Riccardo Silvestri.

Rumor spreading in random evolving graphs.

*arXiv preprint arXiv :1302.3828*, 2013.



Augustin Chaintreau, Pan Hui, Jon Crowcroft, Christophe Diot, Richard Gass, and James Scott.

Impact of human mobility on opportunistic forwarding algorithms.

*IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6(6) :606–620, 2007.



Andrea E.F. Clementi, Claudio Macci, Angelo Monti, Francesco Pasquale, and Riccardo Silvestri.

Flooding time in edge-markovian dynamic graphs.

In *Proceedings of the twenty-seventh ACM symposium on Principles of distributed computing, PODC '08*, pages 213–222, 2008.



Andrea EF Clementi, Claudio Macci, Angelo Monti, Francesco Pasquale, and Riccardo Silvestri.

Flooding time of edge-markovian evolving graphs.

*SIAM journal on discrete mathematics*, 24(4) :1694–1712, 2010.



Andrea E. F. Clementi, Francesco Pasquale, Angelo Monti, and Riccardo Silvestri.

Information spreading in stationary markovian evolving graphs.

In *In Proc. of the 23rd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*, pages 1–12. IEEE Computer Society, 2009.



A. Ferreira.

On models and algorithms for dynamic communication networks : The case for evolving graphs.



In *4e rencontres francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (Algotel2002)*, pages 155–161. INRIA Press, 2002.



P-U Tournoux, Jérémie Leguay, Farid Benbadis, Vania Conan, M Dias De Amorim, and John Whitbeck.

The accordion phenomenon : Analysis, characterization, and impact on dtn routing.

In *INFOCOM 2009, IEEE*, pages 1116–1124. IEEE, 2009.



Milan Vojnovic and Alexandre Proutiere.

Hop limited flooding over dynamic networks.

In *30th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM'11)*, pages 685–693, 2011.



John Whitbeck, Vania Conan, and Marcelo Dias de Amorim.

Performance of opportunistic epidemic routing on edge-markovian dynamic graphs.

*Communications, IEEE Transactions on*, 59(5) :1259–1263, 2011.