



**HAL**  
open science

## Maillage territorial des établissements de santé : apport des modèles issus de la théorie des graphes

Nolwenn Le Meur, Lauric Ferrat, Fei Gao, Frédérique Quidu, Michel Louazel

### ► To cite this version:

Nolwenn Le Meur, Lauric Ferrat, Fei Gao, Frédérique Quidu, Michel Louazel. Maillage territorial des établissements de santé : apport des modèles issus de la théorie des graphes. *Journal de gestion et d'économie médicales*, 2017, 35 (4), pp.197-208. 10.3917/jgem.174.0197 . hal-01746036

**HAL Id: hal-01746036**

**<https://ehesp.hal.science/hal-01746036>**

Submitted on 14 Sep 2023

**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.

# Maillage territorial des établissements de santé: apport des modèles issus de la théorie des graphes

## Deciphering hospital networks using graph theory methods

Nolwenn Le Meur<sup>1,2\*</sup>, Lauric Ferrat<sup>4</sup>, Fei Gao<sup>1,2</sup>, Frédérique Quidu<sup>1</sup>, Michel Louazel<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP), Sorbonne Paris Cite, France

<sup>2</sup> Univ Rennes, EHESP, REPERES Recherche en Pharmaco-épidémiologie et recours aux soins - EA 7449, F-35000 Rennes, France

<sup>4</sup> College of Engineering, Mathematics and Physical Sciences, University of Exeter, Exeter, United Kingdom

<sup>5</sup> EA 7348 MOS Management des Organisations de Santé, France

\* Correspondance :

Le Meur Nolwenn

[nolwenn.lemeur@ehesp.fr](mailto:nolwenn.lemeur@ehesp.fr)

Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique

Département METIS

Avenue du Professeur Léon Bernard

35043 Rennes Cedex, France

Tel : 02 99 02 25 14

PRE-PRINT

## Résumé (250 mots)

La recomposition hospitalière observable depuis plus de 20 ans en France résulte de décisions prises dans le cadre des politiques de planification et des stratégies adoptées par les établissements. Au-delà de ses conséquences, comment dans un premier temps rendre compte du maillage territorial des établissements de santé? Pour identifier les facteurs caractérisant la topologie du maillage, les statistiques de test conventionnelles sont inadaptées. Dans ce but, nous proposons dans cet article méthodologique, d'étudier l'utilité des modèles issus de la théorie des graphes pour la modélisation des transferts de patients entre établissements de courts séjours (i.e. Médecine-Chirurgie-Obstétrique, MCO) et établissements de soins de suites et réadaptation (SSR) à partir du Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI). Les modèles Erdős-Rényi (*ER*) et les modèles à séquences contraintes sur les degrés (*Constrained Degree Sequence Model*, CDSM) testent la significativité des mesures d'assortativité. Dans notre étude, ils démontrent en outre la propension des établissements de même statut juridique à échanger des patients entre-eux. Les modèles en blocs permettent de créer des clusters d'établissements sur la base des caractéristiques communes. Dans notre contexte, ils soulignent notamment la dynamique territoriale des échanges entre établissements. Enfin, les modèles à graphes aléatoires exponentiels (*Exponential Random Graph Models* ou ERGM) et la mesure d'assortativité mesurent l'influence simultanée de la proximité géographique et des statuts juridiques dans la relation entre les établissements. En conclusion, les méthodes issues de la théorie des graphes offrent des perspectives pour identifier et quantifier l'impact de facteurs pouvant influencer la topologie des relations hospitalières.

## Mots-clés

Maillage territorial hospitalier ; Transferts inter-établissements de santé ; Théorie des graphes.

## **Abstract (215 words)**

In France, the hospital restructuring that has been observable for more than 20 years is the result of decisions made within the framework of the planning policies and strategies adopted by the establishments. Beyond its consequences, how to describe the network of health care facilities? To identify the factors characterizing the topology of the network, the conventional test statistics are insufficient. For this purpose, we propose in this methodological article, to study the usefulness of models from graph theory for the modeling of patient transfers between short-stay establishments (ie Medicine-Surgery-Obstetrics, MCO) and follow-up care and rehabilitation (SSR) from the French national hospital discharge information system. Erdős-Renyi (ER) models and Constrained Degree Sequence Model (CDSM) models test the significance of assortativity measures. In our study, they demonstrate the propensity of health care facilities of the same legal status to exchange patients. Block models make it possible to build clusters of establishments based on common characteristics. In our context, they emphasize in particular the territorial dynamics of exchanges between establishments. Finally, Exponential Random Graph Models (ERGMs) and the assortativity measure quantify the simultaneous influence of geographical proximity and legal status in the relationship between hospitals. In conclusion, the graph theory methods offer perspectives for identifying and quantifying the impact of factors that can influence the topology of hospital relations.

## **Key words**

Territorial network of health care facilities; Patients' flow management; Graph theory.

## **Introduction**

Dans son rapport de 2012 sur l'hôpital, l'Inspection Générale des Affaires Sociales (IGAS) posait la question suivante : « le tissu hospitalier est-il satisfaisant ? » [1] Cette question n'est pas nouvelle et est posée depuis plus de vingt ans en France dans le cadre des politiques de restructurations hospitalières. Comment concilier des enjeux potentiellement contradictoires à savoir la proximité des soins, la sécurité des prises en charge et l'efficience pour assurer la soutenabilité financière des établissements et de nos dépenses hospitalières ? Des incitations réglementaires et parfois même des dispositions coercitives ou financières sont ainsi prévues pour conduire les établissements de santé à se regrouper ou à coopérer, en particulier depuis la loi Hôpital, Patients, Santé et Territoires (HPST) de juillet 2009, ou plus récemment, dans le cadre de la loi de modernisation de notre système de santé (janvier 2016), avec l'obligation pour les établissements de santé publics d'adhérer à un groupement hospitalier de territoire (GHT). En parallèle, nous observons ces dernières années une évolution de l'intérêt à agir des établissements qui conduit au développement des groupes hospitaliers privés et à une révision de leurs positionnements stratégiques territoriaux [2-3]. L'analyse des conséquences de cette recomposition hospitalière territoriale, tant du point de vue de la santé publique que de l'efficience économique sera nécessaire. Mais ces conséquences ne sont pas étrangères des dynamiques concurrentielles nouvelles qu'est susceptible de générer cette recomposition, c'est-à-dire de la manière dont s'établissent les rapports entre établissements ou groupes de statuts juridiques différents ou non. Aussi, au préalable, il paraît utile de mieux décrire le maillage territorial des établissements de santé, de mesurer son intensité, en rendant compte des choix des partenaires dans l'organisation des prises en charge des patients et de la densité des relations entre ces établissements sur un territoire.

Nous disposons aujourd'hui de rapports cartographiant l'offre hospitalière [4-7]. Pour autant, au-delà de la description des implantations, ces rapports n'explicitent pas l'intensité du maillage territorial. Si certaines recherches proposent des méthodes d'étude de marchés hospitaliers [8], elles permettent d'identifier le territoire d'influence d'un établissement, mais pas son maillage territorial, c'est-à-dire la manière dont il organise ses relations avec les autres

établissements. En France, les analyses territoriales récentes traitent elles le plus souvent de l'accès ou des recours aux soins et des taux d'hospitalisation [9-10]. Les travaux relatifs aux restructurations hospitalières ou à la stratégie concurrentielle des établissements [11-13] apportent également des éclairages sur les arbitrages entre concurrence et coopération, mais ne traitent pas des configurations territoriales, des structures de marché, dans lesquelles s'exercent ces stratégies et la réalité de la concurrence reste à objectiver [14]. Aussi, alors même que de plus en plus de chercheurs en management s'intéressent à la relation entre stratégie, organisation et territoire [15], les analyses des stratégies territoriales des groupes hospitaliers et de maillage territorial de ces établissements demeurent, à notre connaissance, peu nombreuses. Pourtant l'exploitation des données du Programme Médicalisé des Systèmes d'information (PMSI) et l'analyse des transferts entre structures nous offrent ce supplément d'informations permettant de qualifier le maillage inter-établissements. Dans cet article explorant des méthodes visant à rendre compte de ce maillage, nous avons choisi de nous concentrer sur les relations entre les structures de courts et de moyens séjours (Chirurgie-Médecine-Obstétrique - MCO) et les activités de Soins de Suite et Réadaptation (SSR) à destination des adultes. Ces rapprochements entre les structures MCO et SSR sont en effet au cœur de la structuration des filières de prises en charge et des recompositions hospitalières actuelles sur de nombreux territoires et les évolutions en cours des modes de financement des activités SSR sont susceptibles d'accentuer encore le phénomène.

Le maillage territorial des établissements de santé que nous souhaitons décrire peut être assimilé à un réseau relationnel de « flux de patients ». Le PMSI, fait état des séjours, des modes d'entrée et de sortie (e.g. domicile, transfert entre établissements) et permet de rendre compte des flux de patients [16]. L'étude du maillage territorial entre établissements nécessite de prendre en compte plusieurs dimensions à savoir : (i) la dimension spatiale matérialisée par l'unité géographique ou territoire, (ii) les structures et leurs caractéristiques à savoir les objets sur lesquels vont s'effectuer les analyses (entités hospitalières en tenant compte de leur statut juridique, leur nombre de lits ...), (iii) les relations entre structures (les flux de

patients). Les méthodes multidimensionnelles classiques telles que les analyses factorielles permettent de comptabiliser l'ensemble des flux de patients entre deux établissements d'un même territoire y compris entre une structure et elle-même. Toutefois, le résultat est une carte factorielle qui ne tient pas compte, entre autre, du positionnement géographique des établissements les uns par rapport aux autres. Pour répondre à cette problématique, nous proposons d'utiliser des méthodes géostatistiques issues de la théorie des graphes, couramment employées pour l'analyse des réseaux sociaux. Dans le domaine de la santé publique, l'utilisation des graphes et des méthodes associées ont d'abord démontré leur utilité en prévention [17-19] et en recherche interventionnelle [20]. Ainsi en addictologie, l'identification de leaders d'opinion peut aider à la diffusion de messages de prévention et à l'initiation de changements de comportement. Plus récemment ces techniques ont permis de caractériser des réseaux de professionnels de santé sur la base de partage de patients [21,22]. De manière similaire, Boyer et al. [23-25] présentent des approches descriptives associées aux graphes pour étudier des relations intra et inter-établissements de santé. Ils analysent les facteurs susceptibles de diminuer la survenue de décès hospitaliers dans le cas d'infarctus du myocarde tels que le prestige ou la centralité des établissements. Toutefois leurs travaux ne modélisent pas quels sont les déterminants du prestige ou de la centralité de ces établissements. Leurs approches descriptives résument uniquement les caractéristiques structurelles d'un réseau.

Pour mieux comprendre les processus qui influencent la topologie d'un réseau, un modèle statistique multidimensionnel est nécessaire. Les modèles statistiques classiques, comme la régression linéaire, du fait des hypothèses d'indépendance des variables sont inadaptés à l'analyse des graphes. En conséquence, cet article illustre, d'une part, l'apport des méthodes descriptives basées sur la théorie des graphes pour établir et visualiser la topologie des interactions au sein d'un réseau d'établissements. D'autre part, il propose une comparaison des graphes observés à des graphes générés aléatoirement (modèle uniforme de Erdős-Renyi – *ER* - ou le modèle à séquences contraintes sur les degrés -*Constrained Degree Sequence*

*Model* ou *CDSM*) pour évaluer si le maillage territorial observé est le fruit du hasard [26]. Enfin il présente l'apport des modèles à blocs (basé sur le principe des méthodes de clustering) et des modèles à graphes aléatoires exponentiels (*Exponential Random Graph Models* ou ERGM) [27-29] pour identifier et quantifier l'effet simultané de facteurs pouvant influencer la topologie du graphe.

## **Méthode**

Les données relatives aux transferts des patients sont issues des bases PMSI MCO et PMSI SSR pour l'année 2012. Le sous-ensemble des patients pris en charge pour les catégories majeures cliniques en lien avec l'appareil locomoteur (CMC 16 à 18) et les problèmes neurologiques (CMC 12) ont été étudiés car ils représentent près de 50% des hospitalisations en SSR. Les régions sélectionnées ont été choisies du fait de leur proximité du point de vue de la densité en établissements de santé et de leur répartition entre les 3 statuts juridiques (public, privé lucratif, privé non lucratif). Il s'agit de la région Bretagne, et des anciennes régions Lorraine, et Rhône Alpes. Afin d'identifier les transferts MCO-SSR, un algorithme spécifique a été développé. Il prend en compte l'identifiant anonymisé du patient (unique pour l'ensemble des bases du PMSI), le type d'établissement (MCO ou SSR), la durée de séjour, le numéro de séjour, le mode sortie et le mode d'entrée des 2 séjours consécutifs, permettant ainsi de repérer l'établissement d'origine et celui de destination.

Les données issues de la base Statistique Annuelle des Etablissements de santé (SAE) ont été utilisées pour caractériser les établissements de santé en termes de lits et de statut juridique.

Pour chaque région, le maillage des établissements de santé a été représenté par un graphe orienté ou graphe directionnel. Schématiquement, un graphe orienté est composé d'un ensemble fini de points, encore appelés sommets ou nœuds, et d'un ensemble de flèches ou arcs reliant chacun des deux points. Dans notre contexte, les nœuds matérialisent les établissements et les arcs indiquent les transferts des patients entre établissements, avec un

minimum arbitraire de 3 patients échangés pour définir un arc. Si moins de 3 transferts sont réalisés entre deux établissements, les nœuds représentant ces établissements ne sont reliés par aucun arc. Seuls les arcs orientés des établissements MCO vers les établissements SSR ont été étudiés. Un établissement doté d'un service MCO et d'un service SSR, avec plus de 3 transferts en son sein, sera représenté par un nœud avec une flèche partant et arrivant sur lui-même (boucle). L'épaisseur d'un arc (ou poids) est proportionnelle au nombre de patients transférés entre établissements.

Des indicateurs structurels individuels et globaux ont été utilisés pour décrire les réseaux. Au niveau individuel, le degré d'un nœud est le nombre d'arcs entrant ou sortant du nœud. Le terme « centralité » désigne l'importance des sorties d'un établissement (degré sortant) : l'indicateur de centralité sera d'autant plus élevé que le nombre de transferts vers des établissements de moyens séjours sera important. Le terme « prestige » désigne le degré entrant. Un établissement sera qualifié de prestigieux si de nombreux établissements lui adressent des patients en quantité. Au niveau global, la densité correspond au nombre de liens réels (transferts) entre les différents établissements par rapport au nombre de liens possibles.

Pour étudier la topologie des graphes et évaluer si le maillage territorial observé est le fruit du hasard, nous avons comparé les graphes observés pour chacune des 3 régions aux graphes aléatoires définis par le modèle uniforme de Erdős-Rényi (ER) ou le modèle à séquences contraintes sur les degrés (*Constrained Degree Sequence Model* ou CDSM) [26]. Pour un graphe observé  $G(n, M)$ , composé de  $n$  nœuds et  $M$  arcs, le graphe aléatoire  $G'(n, M)$  est obtenu en partant du même ensemble de  $n$  nœuds isolés et en ajoutant successivement entre eux le même nombre  $M$  d'arcs suivant une loi de probabilité. Dans le modèle ER, le sous-ensemble de  $M$  arcs parmi les  $n(n-1)/2$  possibles (souvent noté  $\binom{n}{2}$ ) sont choisis de façon uniforme avec une probabilité  $P(G) = 1 / \binom{n}{2}$ . Le modèle CDSM se base sur le modèle ER tout en conservant dans le graphe aléatoire la même distribution des degrés que dans le graphe observé. L'indicateur choisit pour résumer la topologie d'un graphe est le coefficient

d'assortativité [26-27] qui traduit l'homophilie des nœuds, ou la propension des nœuds à posséder des liens avec des nœuds ayant les mêmes caractéristiques (ex. même degré, même statut juridique). Pour le degré des nœuds (variables quantitatives), le coefficient d'assortativité est le coefficient de corrélation de Pearson (Eq 1.).

$$r = \frac{\sum_{x \neq y} xy(f_{xy} - f_x f_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{Equation 1}$$

où  $f_{xy}$  est la somme des paires uniques,  $f_x$  et  $f_y$  totalisent le nombre de nœuds ayant les caractères  $x$  et  $y$ .

Pour le statut juridique (variables qualitatives) le coefficient d'assortativité est défini par l'équation 2 :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M f_{ij} - \sum_{i=1}^M f_i f_j}{1 - \sum_{i=1}^M f_i f_j} \quad \text{Equation 2.}$$

où  $f_{ij}$  est la fraction des arcs du graphe allant du nœud de caractère  $i$  au caractère  $j$ ,  $f_i$  et  $f_j$  est le nombre total d'arcs dans ayant les caractères  $i$  et  $j$ . La méthode de simulation de Monte Carlo (avec 5000 permutations) a été utilisée pour tester si les coefficients d'assortativité observés étaient différents de ceux issus des graphes aléatoires générés par les modèles *ER* et *CDSM*.

Pour identifier et quantifier l'effet simultané de plusieurs facteurs pouvant influencer la topologie du graphe, nous avons étudié les modèles à blocs (basé sur le principe des méthodes de classification) et les modèles à graphes aléatoires exponentiels (*Exponential Random Graph Models* ou ERGM) [26]. Les facteurs étudiés sont le nombre de lits offerts en MCO et SSR, les statuts juridiques, les départements des établissements, les degrés, et les temps d'accès routier entre les établissements de soins. Ces temps d'accès ont été estimés à partir de *Google Maps* et des codes postaux des établissements transformés en coordonnées géographiques. Pour l'ensemble des modèles testés, le seuil de signification a été fixé à la valeur  $p < 0.05$ .

## Résultats

Si les analyses descriptives montrent que la répartition des établissements de santé est globalement en lien avec les densités de population sur les territoires, nous observons une diversité des maillages territoriaux entre nos trois régions d'intérêt (Figure 1A-C). Le nombre d'établissements de santé recensés est de 95 en Bretagne, 87 en Lorraine et 207 en Rhône-Alpes. Au sein des 3 régions, les établissements qualifiables de « centraux » sont comme attendu des structures publiques (Centres Hospitaliers Universitaires) ou privés (cliniques). En revanche, au regard des scores de « prestige » cumulés, les établissements dits « prestigieux » sont majoritairement des structures privées à but non lucratif en Bretagne et Lorraine, suivis par les établissements publics. En Rhône-Alpes il s'agit plutôt de structures privées à but lucratif (Figure 2). Pour autant, en Bretagne, les 4 établissements les plus « prestigieux » sont des établissements privés et en Rhône-Alpes, il s'agit d'un établissement privé à but non lucratif. Par ailleurs ces scores ne semblent pas corrélés au nombre de lits disponibles (Figure 2) et à la densité de l'offre (Tableau I).

Nous pouvons noter également la répartition particulière des établissements publics et privés à but non lucratifs en Lorraine (Figure 1B), à savoir formation d'un triangle du centre de la région vers le nord-est pour les premiers et une couverture ouest-sud-est pour les seconds. Le nombre d'arcs est équivalent en Bretagne et Lorraine, avec respectivement 521 et 573 arcs ; tandis qu'il est de 1600 en Rhône-Alpes. Cependant le nombre de patients transférés (poids des arcs) est très différent en Bretagne et Lorraine, avec respectivement 16 729 et 9 314; tandis qu'il est de 29 153 en Rhône-Alpes. Rapporté à la population, le taux de transferts pour 1 000 habitants est relativement élevé en Bretagne par rapport aux autres régions: il est estimé à 5.21 en Bretagne, 3.98 en Lorraine et 4.56 en Rhône Alpes. Cela signifie que des transferts de patients sont plus fréquents en Bretagne. Toutefois l'analyse descriptive ne permet pas d'évaluer si certaines caractéristiques individuelles (positionnement géographique, nombre de lits ou statut juridique par exemple) influent sur la structuration des réseaux.

Les modèles en blocs permettent de regrouper les établissements selon une ou deux caractéristiques. La Figure 3 présente un modèle en blocs pour la région Bretagne. Un nœud regroupe les établissements similaires en termes de centralité et prestige (nombre de patients échangés similaires). Le diamètre du nœud est fonction du nombre d'établissements qu'il regroupe et les couleurs soulignent la part des structures dans les différents départements bretons. Les arcs soulignent les flux de patients. Nous pouvons faire l'hypothèse de deux dynamiques de flux différentes étroitement liées au territoire et à l'implantation des deux CHU avec d'une part l'Ille-et-Vilaine et d'autre part le Finistère. Les Côtes d'Armor semblent avoir une dynamique très proche de celle du Finistère. Le Morbihan paraît répondre en termes de structures et dynamique aux deux pôles.

Les modèles *ER* et *CDSM* testent la significativité des mesures d'assortativité. Ils montrent globalement que le nombre de relations (degré) que possède un établissement d'une part et son statut juridique d'autre part ne sont pas distribués aléatoirement dans les réseaux ( $p$ -valeur  $< 0.05$  ; sauf pour le modèle *CDSM* des degrés pour la Bretagne). Ils contribueraient à la topologie du réseau. Le Tableau II souligne qu'en Bretagne et Lorraine, les petits établissements interagiraient surtout avec les grands établissements (mesure d'assortativité négative); ce qui n'est pas observé pour la région Rhône-Alpes. De plus, de manière intéressante, quelle que soit la région, les établissements de même statut juridique partageraient plus de transferts de patients. Les niveaux de signification des modèles *CDSM*, plus contraints, sont plus importants que les modèles *ER*, renforçant le constat de liaisons non aléatoires entre établissements au regard des degrés et des statuts juridiques.

Les modèles *ERGM* multivariés montrent que, quelle que soit la région, plus les établissements sont proches plus ils échangent de patients, toutes choses égales par ailleurs (Tableau III). Ainsi dans ces modèles *ERGM*, lorsque nous prenons en compte le temps routier de déplacement entre établissements (estimé grâce à Google Maps), le statut juridique ne paraît plus être un facteur déterminant pour les transferts hospitaliers en région Bretagne et

Lorraine. En effet, la densité géographique des établissements étant plus faible qu'en Rhône-Alpes, la proximité géographique a plus d'importance que le statut juridique (Tableau III). En région Rhône-Alpes, le statut juridique reste un facteur explicatif. La probabilité d'avoir une interaction est multipliée par 1.31 ( $e^{0.275}$ ) pour deux établissements de même statut juridique, toute chose égale par ailleurs. La densité des établissements est telle que les établissements semblent avoir le choix de leurs partenaires, et privilégient alors ceux de même statut juridique.

Ces résultats ne seront pas davantage analysés dans cet article dont l'objectif est avant tout méthodologique. Pour autant, nous considérons que leur exploitation peut se révéler utile à la fois pour les dirigeants hospitaliers dans leur compréhension des dynamiques concurrentielles à l'œuvre sur leur territoire et pour les autorités de régulation dans le cadre de la définition de leurs schémas de planification.

## **Discussion**

Les méthodes issues de la théorie des graphes restent sous utilisées dans le domaine de la recherche en services de santé. Cependant elles permettent de combiner l'analyse descriptive, la modélisation et une approche spatiale. Le premier apport est visuel avec la distribution géographique des établissements (nœuds), la matérialisation des flux (arcs) et l'annotation des établissements par leur statut juridique (coloration des nœuds). Comme présenté par Boyer *et al.*, ces méthodes permettent de mesurer le positionnement relatif des établissements les uns par rapport aux autres avec les indicateurs de prestige et de centralité notamment. Le second apport est probabiliste sur la base des modèles ER et CDSM qui permettent de comparer la distribution des liens réellement observés entre établissements à ceux qui seraient attendus dans une distribution aléatoire (e.g. sans rapport de forces, contraintes géographiques...) et d'identifier les relations qui relèvent ou non de l'aléatoire. Le troisième apport est la modélisation des facteurs contributifs à la topologie des réseaux d'établissements (statut juridique, distance par la route entre établissements ou nombre de lits par exemple) au regard de la dépendance existante entre établissements. Les modèles CDSM

et ERGM intègrent notamment les contraintes directionnelles des relations. Du point de vue opérationnel cela permet de souligner la structuration des flux (ex modèle à blocs), les éventuels rapports de force entre établissements de statut juridique différent (ex modèle ERGM en Région Rhône-Alpes) ou minimiser ces rapports du fait des contraintes spatiales (ex modèle ERGM en Régions Bretagne et Lorraine). Toutefois ces modèles ne sont actuellement pas suffisamment explicatifs pour être utilisés comme outils prédictifs pour une simulation des impacts potentiels d'une restructuration de l'offre.

En effet nous pouvons noter quelques limites aux approches proposées dans cette étude. Ainsi, dans les modèles à blocs, il n'est pas toujours évident d'identifier les facteurs qui expliquent le regroupement des établissements au sein d'un même cluster et les liens qui les rapprochent. Dans notre étude le seul indicateur satisfaisant mis en évidence par ces modèles est le positionnement géographique. Les modèles ERGM quant à eux ne convergent pas toujours et peuvent nécessiter une puissance de calcul considérable. Pour ces raisons, nous n'avons d'ailleurs pas pu tester les modèles ERGM pondérés (*Weighted Exponential Random Graph Models*) qui prennent en compte le poids des flux.

Par ailleurs, les informations issues de la SAE caractérisant les établissements (ex. nombre de lits par spécialités médicales, personnels) restent perfectibles du fait de leur caractère déclaratif. De nombreuses mises à jour ont été effectuées manuellement et certains facteurs n'ont pas pu être explorés, diminuant ainsi le nombre de variables expliquant potentiellement le maillage territorial des établissements. Enfin, la géolocalisation des établissements peut s'avérer complexe en raison du manque de précision des adresses. Idéalement, l'adresse des patients apporterait un regard sur le choix de ces derniers, mais à l'imprécision des adresses s'ajoute la problématique de la protection des informations personnelles et le rôle que joue réellement le patient dans les modes d'adressage.

## **Conclusion**

Initialement utilisées en sociologie, les méthodes issues de la théorie des graphes offrent les outils nécessaires pour l'analyse descriptive et la modélisation des réseaux relationnels entre

établissements de santé. Les modèles ERGM sont particulièrement intéressants car ils permettent d'étudier simultanément, l'influence de plusieurs facteurs sur la topologie des réseaux basée sur les transferts de patients. Les méthodes issues de la théorie des graphes, même si elles ne permettent pas encore des simulations d'impacts, offrent d'ores et déjà des enseignements intéressants sur la structuration des flux inter-établissements dans le cadre des travaux relatifs à la planification hospitalière. Plus largement, elles peuvent contribuer à un suivi des évolutions des stratégies territoriales des groupes publics (GHT), comme privés, susceptibles d'advenir à l'occasion de la recomposition hospitalière en cours. Elles constituent en cela un complément et une alternative aux approches statistiques classiques.

## Références

1. Burstin A., Garrigue-Guyonnaud H., Scotton C., Bras PL. (2013). L'hôpital, IGAS rapport 2012, La documentation française, 2013, 295p.
2. Claveranne J-P, Pascal C, Piovesan D. Les restructurations des cliniques privées : radioscopie d'un secteur en mutation. *Revue française des affaires sociales. La Doc. française*; 2003 Sep 1;n° 3(3):55–78.
3. Lalande F, Bocquet P-Y, Bonnet J-L. Fusions et regroupements hospitaliers : quel bilan pour les 15 dernières années? IGAS, editor. Rapport. 2012 Mar 14;:1–273
4. Haas S, Vigneron E, Etablissements Hospitaliers et d'Aide à la Personne privés à but non lucratifs F.E.H.A.P.). Paris. FRA des F. Solidarités et territoires : l'engagement des établissements et services privés non lucratifs. Paris: Groupe Moniteur; 2010. 1 p
5. FHF. Atlas hospitalier et médico-social de la FHF. Plan d'action pour développer le service public. de France FH, editor. Vitry-sur-Seine Cedex: Héral; 2007. 1 p.
6. FHF. Atlas 2010 des coopérations La stratégie de groupe des hôpitaux et des établissements médico-sociaux publics. de France FH, editor. 2010 Oct 11;:1–4.
7. FHP. Cliniques et hôpitaux privés au coeur du système de santé. Rapport sectoriel : édition 2013. Privée FH, editor. Paris: FHP; 2013 p. 233p.
8. Garnick D. et al. (1987), « Appropriate measures of hospital market area », *Health Services Research* 22:1, pp.69 – 89
9. Or Z., Verboux D., (2014) « La pertinence des pratiques d'hospitalisation : une analyse des écarts départementaux de prostatectomies », IRDES, DT n°59, avril 2014.
10. Evain F., Bigard M., Levy D., (2012), « Une hospitalisation en court séjour sur deux a

lieu à moins de 20 minutes du domicile », INSEE Première, N° 1397.

11. Mossé P., Paradeise C. (2003), « Restructurations de l'hôpital ; recompositions des hôpitaux : réflexions sur un programme », *Revue française des affaires sociales*, 57, 3, pp143 – 155.
12. Kerleau M., Fargeon V., Le Vaillant M., (1996) « Déterminants et conditions locales de la coopération entre offreurs de soins » In Contandriopoulos A.P., Souteyrand Y. *L'hôpital stratège*, Paris, John Libbey Eurotext , pp. 159 – 177.
13. Jacobzone S. (1995), « Les apports de l'économie industrielle pour définir la stratégie économique de gestion du secteur hospitalier public », *Sciences Sociales et Santé*, Vol. 13, n°1, mars 1995 pp.5 – 46.
14. Pascal C, Capgras J-B, Botton J-F, Claveranne J-P. La mesure et l'analyse de la concurrence au service de la stratégie des établissements de santé. *Journal de gestion et d'économie médicales*. 2009;27(1):21.
15. Lauriol J, Perret V, Tannery F. Stratégies, espaces et territoires. Une introduction sous un prisme géographique. *Revue française de gestion*. Lavoisier; 2008 May 28;34(184):91–103.
16. Balia S, Brau R, Marrocu E. What drives patient mobility across Italian regions? Evidence from hospital discharge data. *Dev Health Econ Public Policy*. 2014;12:133–54.
17. Valente TW, Gallaher P, Mouttapa M. Using Social Networks to Understand and Prevent Substance Use: A Transdisciplinary Perspective. *Subst Use Misuse*. 2004 Nov 16;39(10-12):1685–712.
18. Valente TW, Hoffman BR, Ritt-Olson A, Lichtman K, Johnson CA. Effects of a Social-Network Method for Group Assignment Strategies on Peer-Led Tobacco Prevention Programs in Schools. *Am J Public Health*. American Public Health Association; 2003 Nov;93(11):1837–43.
19. Friedman SR, Kottiri BJ, Neaigus A, Curtis R, Vermund SH, Jarlais Des DC. Network-related mechanisms may help explain long-term HIV-1 seroprevalence levels that remain high but do not approach population-group saturation. *American Journal of Epidemiology*. 2000 Nov 15;152(10):913–22.
20. Sales AE, Estabrooks CA, Valente TW. The impact of social networks on knowledge transfer in long-term care facilities: Protocol for a study. *Implement Sci*. 2010;5:49.
21. Barnett ML, Landon BE, O'Malley AJ, Keating NL, Christakis NA. Mapping Physician Networks with Self-Reported and Administrative Data. *Health Services Research*. 2011 Apr 26;46(5):1592–609.
22. Landon BE, Keating NL, Barnett ML, Onnela J-P, Paul S, O'Malley AJ, et al. Variation in patient-sharing networks of physicians across the United States. *JAMA*. 2012 Jul

18;308(3):265–73.

23. Boyer L, Belzeaux R, Maurel O, Baumstarck-Barrau K, Samuelian JC. A social network analysis of healthcare professional relationships in a French hospital. *International Journal of Health Care Quality Assurance*. Emerald Group Publishing Limited; 2010;23(5):460–9.
24. Boyer L, Chanut C, Horte C, Mabriez J, Auquier P. Analyse des transferts entre établissements dans la prise en charge de l'infarctus du myocarde dans la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur. *Annales de cardiologie et d'angiologie*. Elsevier; 2005;54(5):233–40.
25. Chanut C, Boyer L, Robitail S, Horte C, Jacqueme B, Guisiano B, et al. L'analyse des réseaux sociaux appliquée au système de santé. *Santé publique*. 2010 Dec 31;17(3):403–15.
26. Kolaczyk ED. *Statistical Analysis of Network Data with R*. Springer; 2014. 1 p.
27. Newman M. Assortative mixing in networks. *Physical review letters*. 2002;;208701.
28. Martina Morris MSHDRH. Specification of Exponential-Family Random Graph Models: Terms and Computational Aspects. *Journal of Statistical Software*. NIH Public Access; 2008;24(4):1548.
29. Beauguitte L. Analyse de graphe et modèles statistiques - Du modèle p1 à l'ERGM. 2012. halshs-00700394

**Tableau I. Nombre de lits pour 1000 habitants affectés aux catégories majeures cliniques étudiées dans les établissements MCO et SSR en 2012.**

	<i>MCO</i>			<i>SSR</i>		
	Public	Privé lucratif	Privé non lucratif	Public	Privé lucratif	Privé non lucratif
<b>Lorraine</b>	2.49	0.70	0.60	0.64	0.13	0.65
<b>Bretagne</b>	2.45	0.68	0.26	0.72	0.18	0.61
<b>Rhône-Alpes</b>	2.31	0.71	0.33	0.71	0.29	0.54

**Tableau II. Mesure d'assortativité : propension des nœuds à posséder des liens avec des nœuds de même degré ou même statut juridique.** Etude des coefficients d'assortativité (colonnes Degrés et Statuts juridiques) couplée au modèle de Erdős-Renyi ou au modèle à séquences contraintes sur les degrés (CDSM) pour le calcul de la *p*-valeur (*p*) par la méthode de Monte-Carlo avec 5000 itérations.

	Degrés	<i>p</i>		Statuts juridiques	<i>p</i>	
		<i>ER</i>	<i>CDSM</i>		<i>ER</i>	<i>CDSM</i>
<b>Lorraine</b>	-0.11	$1.10^{-1}$	$2.10^{-4***}$	0.14	$2.10^{-3**}$	$2.10^{-4***}$
<b>Bretagne</b>	-0.13	$4.10^{-2*}$	$9.10^{-2}$	0.08	$1.10^{-2*}$	$1.10^{-2*}$
<b>Rhône-Alpes</b>	0.03	$1.10^{-1}$	$2.10^{-16***}$	0.08	$3.10^{-3**}$	$6.10^{-4***}$

ER: Erdős-Renyi ; CDSM: Constrained Degree Sequence Model; \*\*\*  $p < 0.001$  ; \*\*  $p < 0.01$  ; \* $p$

$< 0.05$  ;

**Tableau III. Ajustement des modèles ERGM.** Coefficients des variables expliquant les interactions entre établissements MCO-SSR.

	<b>Bretagne</b>	<b>Lorraine</b>	<b>Rhône-Alpes</b>
<b>Statut juridique</b>	0.115	0.215	0.275 **
<b>L'offre de lits SSR</b>	0.004 ***	0.004 *	0.001 *
<b>L'offre de lits MCO</b>	0.002 ***	0.002 ***	0.001 ***
<b>Trajet en min</b>	3.772 ***	4.847 ***	4.596 ***
<b>Département</b>	2.466 ***	1.843 ***	2.542 **

\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$

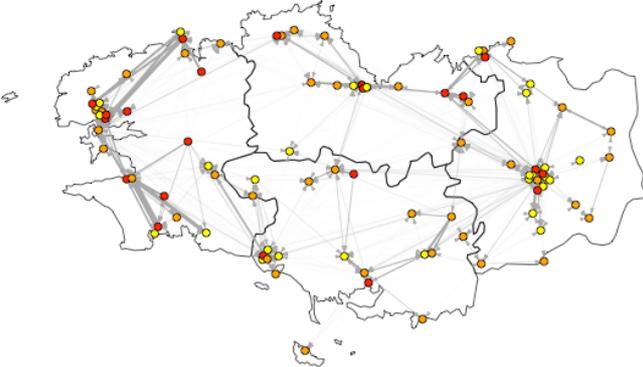
PRE-PRIN

**Figure 1. Diversité des maillages territoriaux des établissements MCO-SSR.** Chaque panel est une région : (A) Bretagne (B) Lorraine (C) : Rhône Alpes. Les nœuds représentent les établissements. Les couleurs des nœuds symbolisent leur statut juridique : en jaune les établissements privés à but non lucratif ; en orange les établissements publics et en rouge les établissements privé à but lucratif. Les arcs représentent les transferts de patients entre établissements (au moins 3).

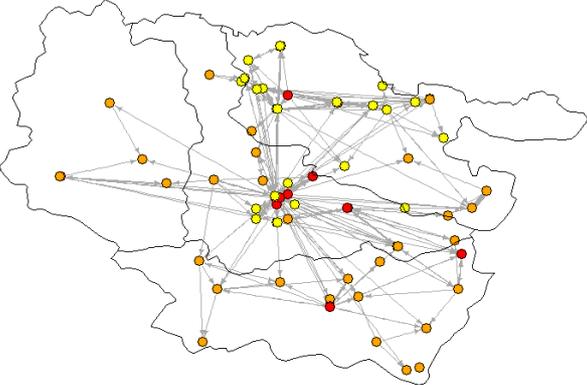
**Figure 2. Score de prestige en fonction du nombre de lits disponibles dans les structures SSR selon les statuts juridiques et les régions en 2012.** Note : les établissements réunis sous le statut juridique des Hospices Civils de Lyon ont été écartés de la représentation graphique car ils ne peuvent pas être dissociés et biaisent le visuel. Pour information, ils comptabilisent un total d'environ 700 lits pour un prestige d'environ 200.

**Figure 3. Les établissements échangent au sein de leur département ou avec les départements limitrophes.** Exemple d'un modèle à blocs pour la région Bretagne. Chaque diagramme circulaire regroupe les établissements échangeant un nombre similaire de patients. La taille d'un diagramme circulaire est proportionnelle au nombre d'établissements inclus dans le groupe. La variable illustrative, qui sectorise le diagramme, est le département : bleu marine Côte d'Armor, orange Morbihan, vert Ille-et-Vilaine et bleu ciel Finistère. L'épaisseur des liens entre les diagrammes circulaires est proportionnelle à la probabilité que les établissements de chaque groupe échangent des patients.

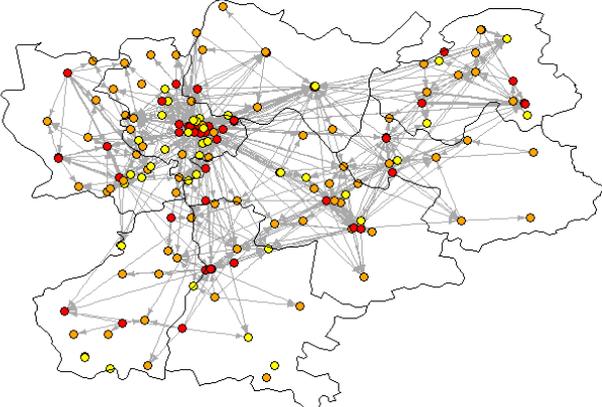
Figure 1



A



B



C

RMF

Figure 2

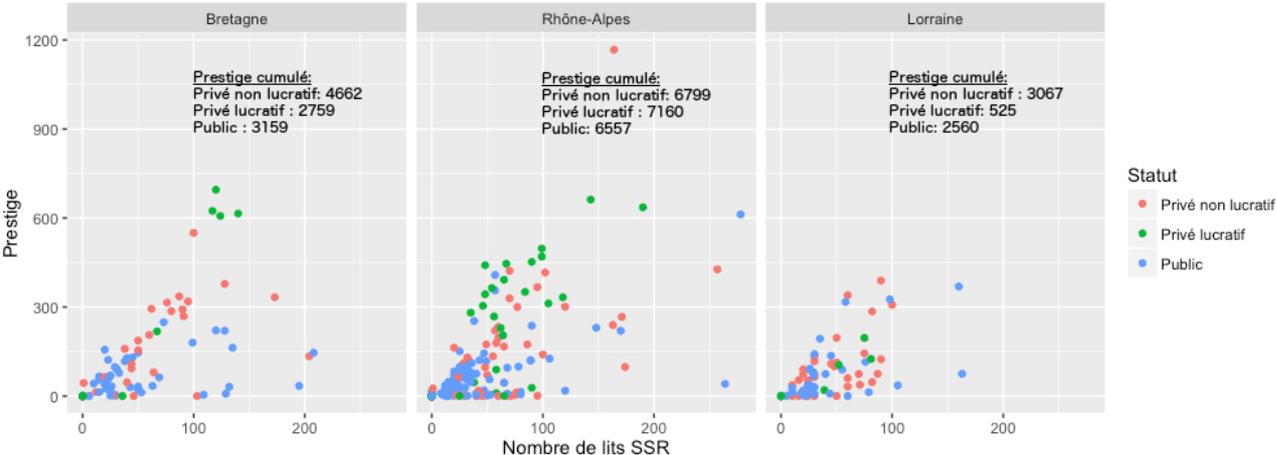


Figure 3

