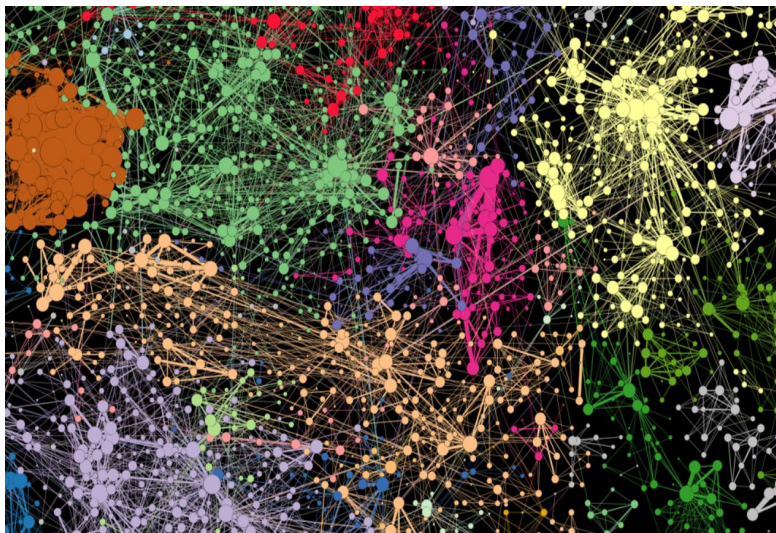


Flux de connaissances et proximités. Analyse des réseaux de brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise

Romain Lacroix

Sous la direction du Prof. C. Rozenblat.



MÉMOIRE DE MASTER

Flux de connaissances et proximités

Analyse des réseaux de brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise

ROMAIN LACROIX



UNIL | Université de Lausanne

Faculté des géosciences et de l'environnement

Institut de géographie et durabilité

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE

Lausanne, Suisse, 2017

Flux de connaissances et proximités
Analyse des réseaux de brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise
ROMAIN LACROIX

© ROMAIN LACROIX, 2017.

Directeur de mémoire : Céline Rozenblat, Université de Lausanne
Expert : Mehdi Bida, Université de Lausanne

Mémoire de Master

Faculté des géosciences et de l'environnement
Institut de géographie et durabilité
UNIVERSITÉ DE LAUSANNE
Mouline - Géopolis
CH - 1015 Lausanne

Couverture : Réseau des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise (extrait)
© R.Lacroix (2017).

Réalisé en L^AT_EX
Imprimé par Université de Lausanne
Lausanne, Suisse, 2017

Flux de connaissances et proximités

Analyse des réseaux de brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise

ROMAIN LACROIX

Faculté des géosciences et de l'environnement

Institut de géographie et durabilité

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE

Résumé

L'objectif de ce travail de master est de modéliser puis analyser les flux de connaissances sur un territoire métropolitain afin de déterminer les différentes proximités sous-jacentes les structurant et les animant. A partir d'une base de données sur les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, sont modélisés des réseaux de proximité, leurs structures et dynamiques. Il est montré que les proximités technologiques, organisationnelles, sociales et géographiques sont inter-reliées et en coévolution dans le cadre des réseaux de connaissances étudiés.

Mots-clés : Réseaux de connaissances, Brevets, Variété, Inventeurs, Organisations, Technologies, Évolution de réseau, Proximités, Lyon.

Abstract

The aim of this master thesis is to model and analyze localized knowledge flows in the determination of underlying structuring and driving proximities. Using patents database, we model proximity networks, their structures and dynamics. It is shown that technological, organizational, social, and geographical proximity are interlinked and coevolve together within the studied framework of the knowledge networks.

Keywords : Knowledge networks, Patents, Related variety, Inventors, Organizations, Technologies, Network evolution, Proximities, Lyon.



Table des matières

Table des figures	ix
Liste des tableaux	xiii
Introduction	1
1 Réseaux d'innovation et développement urbain	5
1.1 Facteurs de proximité	6
1.1.1 Proximités géographiques et ruissèlement des connaissances	6
1.1.2 Proximités technologiques : <i>(un)related variety</i>	10
1.1.3 Proximités organisationnelles, sociales et institutionnelles : <i>embeddedness</i>	14
1.2 Facteurs de positionnement	20
1.2.1 Positions dans un réseau technologique	20
1.2.2 Positions dans un réseau social : trous structuraux et <i>gatekeepers</i>	22
1.2.3 Positions dans un réseau géographique	25
1.3 Facteurs de trajectoire, facteurs évolutifs	28
1.3.1 <i>Path dependence</i>	29
1.3.2 <i>Path renewal</i>	31
1.3.3 <i>Path creation</i>	32
1.4 Synthèse	34
2 Les réseaux de connaissances au prisme de la proximité	39
2.1 Des <i>clusters</i> , des réseaux et des trajectoires	39
2.1.1 Proximités	39
2.1.2 Structure des réseaux	40
2.1.3 <i>Path dependence</i>	41
2.2 Objectifs et questions de recherche	42
2.3 Hypothèses de recherche	42
2.4 Mise en oeuvre conceptuelle	45
3 Choix du territoire d'étude et présentation des données	47
3.1 Mise en œuvre opérationnelle sur un territoire : les spécialisations lyonnaises	47
3.2 Définition de l'espace d'étude : l'aire métropolitaine lyonnaise	49
3.3 Sources et nettoyage des données	50
3.4 Mesures générales	52

3.5	Discrétisation temporelle	55
3.6	Logiciels et méthodes utilisées	57
4	Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise	59
4.1	Réseaux de proximité	59
4.1.1	Proximité technologique	59
4.1.2	Proximité organisationnelle	71
4.1.3	Proximité sociale	82
4.1.4	Proximité géographique	86
4.2	Collaborations et positions des acteurs et organisations et du territoire dans les contextes locaux et globaux	88
4.2.1	Collaborations	88
4.2.2	Positions	110
4.2.3	Corrélations entre les proximités	137
4.3	Dynamiques d'évolution des proximités dans les réseaux de connaissances de l'aire métropolitaine lyonnaise	138
4.3.1	Évolution des proximités	139
4.3.2	Évolution des positions et collaborations	148
5	Commentaires des résultats et discussion	173
6	Conclusion	177
	Bibliographie	181

Table des figures

3.1	Territoire d'étude : l'aire métropolitaine lyonnaise (UrbaLyon, 2015).	50
3.2	Fréquence des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise de 1978 à 2017 selon leur nombre de brevets déposés	52
3.3	Fréquence des brevets par nombre d'inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise de 1978 à 2017	53
3.4	Fréquence des brevets par nombre d' <i>applicants</i> de l'aire métropolitaine lyonnaise de 1978 à 2017	53
3.5	Fréquence des brevets de l'aire métropolitaine Lyonnaise de 1978 à 2017 selon leur nombre de codes IPC	54
3.6	Nombre de brevets déposés par année dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)	55
3.7	Dépôts de brevets et périodes considérées pour l'analyse dynamique dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)	56
4.1	Exemple d'organisation de niveaux d'analyse possibles des brevets	60
4.2	Distribution hiérarchique des sous-groupes de technologies IPC dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)	63
4.3	Distribution hiérarchique des groupes, sous-classes et classes de technologies IPC dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)	64
4.4	Méthode de construction de la proximité technologique	66
4.5	Le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	67
4.6	Distribution hiérarchique des degrés pondérés dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	68
4.7	Distribution des degrés dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	70
4.8	Distribution hiérarchique des degrés dans le réseau de proximité organisationnelle structurale des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	73
4.9	Réseau de proximité organisationnelle structurale des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	74
4.10	Réseau de mobilité professionnelle dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	76
4.11	Réseau de mobilité professionnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017 - zoom sur le groupe principal	78

4.12 Réseau de proximité organisationnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017 - zoom sur le groupe principal - distinction acteurs publics et privés	79
4.13 Réseau de mobilité professionnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017 - zoom sur le pôle Chirurgie - Biomatériaux	80
4.14 Réseau social des inventeurs basé sur la participation commune à un brevet dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	83
4.15 Communautés de Louvain dans le réseau social des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise , 1978-2017	84
4.16 Communautés de Louvain dans le réseau social des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017) - zoom	85
4.17 Adjacence des communes dans l'aire métropolitaine lyonnaise - voisinage de type "reine"	87
4.18 Réseau de co-brevetages entre organisations de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	95
4.19 Distribution du nombre de liens entre inventeurs dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	97
4.20 Distribution hiérarchique des degrés dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	98
4.21 Ajustement des degrés par une loi de puissance dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	99
4.22 Profil de la distance entre les coinventeurs d'un brevet au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	100
4.23 Réseau géographique du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	101
4.24 Profil de la distance entre inventeurs dont les brevets se citent dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	102
4.25 Réseau géographique des citations entre brevets au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	103
4.26 Spatialité des cobrevets réalisés à partir de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	104
4.27 Citations réalisées par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise vers d'autres agglomérations, 1978-2017	108
4.28 Citations réalisés par les brevets d'autres agglomérations vers l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	109
4.29 Centralité d'intermédiarité dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	112
4.30 Centralité de degré dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	114
4.31 Identification des gatekeepers selon leurs relations	115
4.32 <i>Gatekeepers</i> de l'aire métropolitaine lyonnaise à partir des cobrevetages, 1978-2017	116
4.33 Centralité de degré dans le réseau de mobilité professionnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	118
4.34 Centralité d'intermédiarité dans le réseau de mobilité professionnelle dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	119

4.35	Centralité de degré dans le réseau de proximité organisationnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	120
4.36	Centralité d'intermédiation dans le réseau de proximité organisationnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	121
4.37	Distribution hiérarchique de la centralité d'intermédiation dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	122
4.38	Top 0.5% des valeurs de centralité d'intermédiation du réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	124
4.39	Centralité de degré dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	125
4.40	Percentiles du nombre de brevets par commune de résidence des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	127
4.41	Centralité d'intermédiation des communes dans le réseau de cobrevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	128
4.42	Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe G21, 1978-2017	129
4.43	Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe B64, 1978-2017	130
4.44	Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe B60, 1978-2017	131
4.45	Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe C07, 1978-2017	132
4.46	Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe H01, 1978-2017	133
4.47	Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe A61, 1978-2017	134
4.48	Réseau régional des citations entre brevets européens, hors Russie et Turquie, 1978-2017	136
4.49	Évolution du réseau de proximité technologique dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	140
4.50	Évolution de la fermeture triadique dans le réseau technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	141
4.51	Évolution du réseau de proximité organisationnelle structurelle dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	142
4.52	Évolution du réseau de proximité sociale dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	144
4.53	Profil de la distance géographique entre les coinventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise pour chaque période , 1980-2012	145
4.54	Évolution de la distribution hiérarchique du nombre de brevets par technologie dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	150
4.55	Évolution des réseaux de cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	153
4.56	Évolution de la distribution hiérarchique des liens dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	155
4.57	Évolution de la distribution hiérarchique des degrés dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	156

4.58	Évolution de la distribution hiérarchique des centralités d'intermédiarité dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	157
4.59	Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-1987	158
4.60	Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1988-1995	159
4.61	Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1996-2003	159
4.62	Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 2004-2012	160
4.63	Évolution de la distance de citation entre brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	161
4.64	Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-1987	163
4.65	Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1988-1995	164
4.66	Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1996-2003	165
4.67	Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 2004-2012	166
4.68	Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-1987	167
4.69	Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1988-1995	168
4.70	Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1996-2003	169
4.71	Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 2004-2012	170

Liste des tableaux

4.1	Variation des mesures dans les distances technologiques mesurées sur les brevets, sur les inventeurs et sur les <i>applicants</i> dans l'aire métropolitaine lyonnaise (codes IPC détaillés), 1978-2017	61
4.2	Nombre de technologies présentes dans l'aire métropolitaine lyonnaise selon le niveau d'agrégation des catégories de brevets, 1978-2017	62
4.3	Variation des mesures dans les distances technologiques mesurées sur les différentes nomenclatures dans les 19 245 brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	65
4.4	Liens les plus nombreux de mobilité professionnelle des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise entre les <i>applicants</i> , 1978-2017	81
4.5	Les quinze premiers liens de proximité technologique dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	89
4.6	Proportion du type de variété dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	90
4.7	Proportion du type de variété en fonction des citations échangées par l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	91
4.8	Fréquences et quotients de localisation (QL) des technologies citées dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	93
4.9	Liens de co-brevetage les plus importants dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	94
4.10	Proportion de type de partenariat de cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	96
4.11	Principales agglomérations réalisant des cobrevets avec l'aire métropolitaine lyonnaise	105
4.12	Principales agglomérations citées par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	106
4.13	Principales agglomérations dont les brevets citent les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	107
4.14	Centralité d'intermédiarité dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	111
4.15	Degré des technologies dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	113
4.16	Matrice de corrélation entre les proximités appliquées aux inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017	137
4.17	Statistiques descriptives du réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	143

4.18	Corrélations des réseaux de proximité de l'aire métropolitaine lyonnaise par période, 1980-2012	147
4.19	Principaux liens entre technologies par période dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	148
4.20	Évolution du type de variété par période dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	149
4.21	Évolution de l'entrée et de la sortie de technologies et leurs centralités spectrales dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	151
4.22	Principaux <i>applicants</i> en nombre d'inventeurs par période dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	151
4.23	Évolution des principales agglomérations citées par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	162
4.24	Évolution des principales agglomérations citant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012	162

Introduction

L'innovation a toujours été au cœur des préoccupations économiques et aujourd'hui plus encore avec l'avènement d'une économie dite « de la connaissance » (Foray, 2000). Ainsi en 2000, le Conseil européen adopte la stratégie de Lisbonne visant à faire de l'Union européenne l'union économique de la connaissance la plus puissante au monde en 2010. La stratégie décennale suivante, « Europe 2020 », poursuit le même objectif et vise les 3% du PIB investi dans la recherche et développement. Le premier pilier de cette dernière stratégie est d'ailleurs « une croissance intelligente : développer une économie fondée sur la connaissance et l'innovation » (Commission Européenne, 2010).

Au-delà d'une stratégie de politique économique, l'innovation est également un phénomène social en réseau. Les entreprises et autres organisations innovent continuellement en interaction avec d'autres organisations dans leur environnement proche, mais parfois aussi éloigné (Freeman, 1987 ; Lundvall, 1992). La géographie de l'innovation a longtemps été discutée par les géographes économiques dans la littérature sur les *clusters* innovants (Audretsch & Feldman, 1996 ; Feldman, 2000 ; Giuliani, 2007 ; Lissoni, 2001 ; Moodysson *et al.*, 2008), les systèmes régionaux d'innovation (Asheim, 2002 ; Asheim & Isaksen, 1997 ; Cooke, 1996) et les réseaux d'innovation (Boschma & Frenken, 2001 ; Cooke, 1996 ; Sternberg, 2000). Les géographes économiques ont soutenu que, en raison de la nature tacite de la connaissance et de son caractère « collant », c'est-à-dire peu échangeable à distance, les réseaux d'innovation ont tendance à être ancrés à certains territoires. La proximité géographique améliore souvent la confiance et facilite ainsi l'échange de connaissances entre les organisations localisées dans un même territoire.

Depuis le milieu des années 1990, les géographes économiques se préoccupent de plus en plus de la propagation globale des activités d'innovation (Ernst, 2002 ; Ficarek & Veloso, 2010 ; Gertler & Levitte, 2005). La mondialisation croissante des activités économiques n'a pas diminué le rôle des territoires locaux (Dickens, 2007 ; Gertler, 2008). Au lieu de cela, ils sont devenus des pôles de connaissances dans les réseaux d'innovation mondiaux (Gertler & Levitte, 2005). Comme les connaissances continuent d'être limitées à certains territoires, ces zones deviennent des pôles d'attraction pour les agents impliqués dans des activités à forte intensité de savoir. Par exemple, les entreprises multinationales sont attirées par certains territoires du monde qui ont accumulé des compétences spécifiques difficiles à acquérir (Narula & Zanfei, 2004). En outre, les *clusters* qui sont capables de maintenir un niveau élevé de buzz local et créent simultanément des canaux qui font appel aux flux de connaissances globaux montrent des niveaux de croissance et de dynamisme

plus élevés (Bathelt *et al.*, 2004). Les liens locaux et mondiaux sont donc complémentaires.

Asheim et Coenen (2005) ont étendu le débat sur la dialectique mondial vs local en faisant valoir que le caractère localisé ou globalisé d'un secteur économique dépend de sa base de connaissances. Les entreprises d'activités dominées par une base de connaissances tacites, nécessitant des face à face fréquents, ont tendance à échanger des connaissances avec des partenaires géographiquement proches, tandis que les entreprises d'activités dominées par une base de connaissances codifiées peuvent atteindre plus souvent des sources de connaissances géographiquement éloignées (Asheim & Coenen, 2005 ; Martin & Moodysson, 2011, 2013 ; Moodysson *et al.*, 2008). La connaissance tacite tend à différer d'un endroit à l'autre, tandis que la connaissance codifiée est plus facilement transférable et universelle. En conséquence, les réseaux d'innovation reposant sur des connaissances tacites ont tendance à être plus locaux, tandis que les réseaux d'innovation fondés sur les connaissances codifiées ont tendance à être plus globaux.

Ainsi, dans la dynamique des réseaux d'innovation, la question demeure de savoir si la proximité géographique reste un facteur important pour la création de liens de connaissances face à d'autres types de proximité. Cela s'appuie sur les idées présentées par l'école française des dynamiques de *proximité* (Rallet & Torre, 1990 ; Torre & Rallet, 2005), qui ont été particulièrement popularisées dans le domaine de la géographie économique par Boschma (2005). En plus de la proximité géographique, Boschma (2005) a identifié quatre types distincts de proximité : la proximité cognitive, sociale, organisationnelle et institutionnelle. Ces types peuvent caractériser les relations entre les organisations. Les preuves empiriques confirment la pertinence simultanée de tous les types de proximité comme facteurs importants de l'évolution du réseau (Balland, 2012).

Bien que les changements dans l'importance relative des proximités pour la création de liens d'innovation aient été étudiés en détail (Ter Wal, 2014 ; Balland *et al.*, 2013), les proximités sont généralement supposées statiques et indépendantes les unes des autres. Cependant, cela va à l'encontre de la conception théorique des proximités, qui repose sur une nature interdépendante et intrinsèquement dynamique. Malgré ces travaux, les études sur la dynamique des proximités sont rares, et encore plus rares sont les travaux intégrant l'interdépendance des proximités et leurs évolutions sur un territoire précis.

Le but de cette étude est de combler cette lacune en étudiant dans la structure des réseaux d'innovation d'une métropole, l'interdépendance des proximités qui les constituent et l'évolution de ces réseaux et de leurs interdépendances. À l'aide des outils d'analyse des réseaux sociaux, nous avons modélisé ces proximités et leurs évolutions, identifié leurs modèles relationnels pour démontrer comment ces proximités s'organisent dans le système d'innovation local.

L'étude est présentée en quatre chapitres. Le chapitre 1 comprend la revue de la littérature et le cadre théorique. Le chapitre 2 présente le cadre analytique, qui comprend la conception de la problématique, et la présentation des hypothèses de travail. Le chapitre 3 expose l'espace d'étude considéré, les données, et méthodes utilisés. Le chapitre 4 présente les différents résultats. La partie 5 discute de ces résultats et revient sur les hypothèses de départ.

1

Réseaux d'innovation et développement urbain

La localisation et la performance des entreprises sont fortement interdépendantes, même à l'heure de la globalisation. De nouveaux secteurs industriels et les emplois liés n'évoluent pas de la même façon en chaque lieu. En fait, il existe une tendance à ce qu'ils s'agglomèrent dans certains territoires où il existe une spécialisation, des institutions, des individus, des connaissances et des « sentiers de développement » qui favorisent le développement de ces nouvelles activités.

L'innovation considérée en tant que « processus d'intégration d'éléments qui déterminent et favorisent la dynamique et la transformation du système technoproduit territorial » (Maillat, et.al, 1993) est aujourd'hui largement envisagée comme un moteur incontournable de la croissance économique. Celle-ci paraît dépendante :

- du milieu innovateur, soit un « *l'ensemble territorialisé dans lequel des interactions entre agents économiques se développent par l'apprentissage qu'ils font de transactions multilatérales génératrices d'externalités spécifiques à l'innovation et par la convergence des apprentissages vers des formes de plus en plus performantes de gestion en commun des ressources* » (Maillat et al., 1993) ;
- et des réseaux d'innovation qui sont des collaborations, ayant pour objet l'innovation, élaborées au sein du milieu innovateur sur la base d'une confiance réciproque.

Ces réseaux d'innovation recouvrent alors plusieurs dimensions dont :

- la proximité (ou son antonyme, la distance) peut avoir lieu à différents niveaux et échelles et peut influencer sur le potentiel de collaboration des acteurs. Il peut s'agir d'une proximité géographique bien sûr, mais également de proximités organisationnelles, cognitives ou technologiques, sociales et institutionnelles ;

- le positionnement : la position d'un acteur, d'une technologie, d'une ville au sein de ces réseaux ;
- les trajectoires : le réseau repose sur un système de relations plus ou moins durables entre acteurs. Le réseau est alors évolutif et non pas statique.

Aussi, considérant que certains territoires paraissent mieux réussir que d'autres en termes d'innovation, il convient de s'interroger sur les facteurs de proximité, de positionnement et de trajectoire des réseaux d'innovation influençant le développement économique de ceux-ci.

1.1 Facteurs de proximité

En géographie économique, un des grands problèmes étudiés récemment concerne la question de savoir si la proximité géographique affecte le partage des connaissances et l'innovation entre les agents. Cette question a été depuis longtemps développée théoriquement par l'école française de proximité (Kirat & Lung, 1999 ; Rallet, 1993 ; Torre & Rallet, 2005) soulignant en particulier que la proximité géographique n'est qu'une dimension parmi un certain nombre d'autres dimensions de proximité qui peuvent expliquer l'interaction entre les acteurs.

Boschma (2005) a proposé cinq dimensions de proximité ayant une incidence sur la probabilité d'un échange de connaissances entre les acteurs et leur performance innovante. Son idée est que la proximité géographique n'est ni une condition nécessaire ni suffisante pour l'apprentissage et l'innovation inter-organisationnelle.

1.1.1 Proximités géographiques et ruissèlement des connaissances

On peut en effet se questionner sur le lien entre la proximité géographique et l'échange de connaissances. La connaissance a-t-elle tendance à ruisseler plus facilement entre agents spatialement proches qu'entre des agents éloignés ? Et, jusqu'à quelle portée géographique les flux de connaissances localisés peuvent également être considérés comme du ruissèlement ?

1.1.1.a Connaissances et échanges de connaissances au niveau micro-géographique

Dans un premier temps, il convient de s'interroger sur ce que la connaissance représente économiquement et les moyens disponibles pour l'échanger et la partager au niveau micro-géographique soit au niveau des individus ou couples d'individus.

La connaissance c'est d'abord une information qui peut être générée, stockée, traitée et comprise. La connaissance est associée à un processus impliquant des structures cognitives qui peuvent assimiler l'information et la mettre dans un contexte plus large, ce qui permet d'entreprendre des actions nouvelles. Pour pouvoir innover, inventer et découvrir, l'utilisation des connaissances existantes est nécessaire, mais cela implique également souvent de générer et d'acquérir de nouvelles connaissances. Au final, le développement économique est ainsi dépendant de l'échange des connaissances. Des tentatives ont été faites pour identifier et classer différents types de connaissances. Suivant Michael Polanyi (1966), il existe une distinction entre les connaissances explicites ou codifiées et les connaissances tacites. La différence entre ces deux grands types de connaissances est liée au degré de formalisation et à l'exigence de présence dans la transmission de la connaissance. Les connaissances explicites ou codifiées impliquent un savoir-faire transmissible dans un langage formel et systématique, ne nécessitant pas une expérience directe de la connaissance acquise et pouvant être transférées dans des formats tels qu'un brevet, une publication scientifique ou un mode d'emploi. En revanche, les connaissances tacites ne peuvent être communiquées de manière directe ou codifiée. La connaissance tacite concerne une expérience directe qui n'est pas codifiable. Ainsi, elle renvoie à des actions que l'on peut réaliser sans être en mesure d'expliquer complètement comment on y parvient, ainsi qu'à des aptitudes, des modes de raisonnement qui sont mis en œuvre de manière inconsciente (Foray, 2007). On peut prendre exemple du sens des affaires, du coup de main, de l'aptitude pédagogique, etc.

Suivant cette distinction, on peut alors s'intéresser sur la spatialité de ces échanges de connaissances. Selon Maskell et Malmberg (1999), la connaissance codifiée peut s'échanger sur de grandes distances et ainsi un grand nombre d'acteurs peuvent y avoir accès. Dans un monde compétitif, la création de capacités uniques dépend donc en grande partie des échanges de connaissances tacites. Ces connaissances tacites, à l'inverse, sont davantage acquises par le partage d'expérience et de savoir-faire ce qui rend leur échange difficile sur de longues distances. Aussi, l'échange est dépendant d'un contexte commun : deux parties peuvent échanger de manière efficiente un savoir-faire si elles partagent des caractéristiques comme la langue ou l'avancement technologique. Il a ainsi été montré aux États-Unis (Audretsch & Feldman, 1996 ; Jaffe, 1989) ou en France (Estades, *et al.*, 1996 ; Grossetti, 1995) que, toutes choses égales par ailleurs, les relations technologiques

sont plus nombreuses et intenses au sein d'espaces infranationaux de l'ordre des bassins d'emploi ou des grandes agglomérations urbaines (Grossetti & Bès, 2001). Les proximités des acteurs facilitent donc l'échange de connaissances, grâce aux liens sociaux et aux contacts fréquents en face à face. On appelle communément cet ensemble d'échanges le *buzz* local (Storper & Venables, 2004). Ces réseaux étant plus denses au niveau local, par conséquent, les *spillovers* sont plus efficaces et rapides et donc les *clusters* géographiques offrent plus d'opportunités d'innovation que des sites dispersés (Breschi & Lissoni, 2001).

1.1.1.b Incidences au niveau méso-géographique : les économies d'agglomération

Ces processus micro de réseau se développent particulièrement grâce aux proximités qu'offrent les villes. Aussi, lorsque ces processus atteignent une certaine masse critique (Marwell & Oliver, 1993), les réseaux peuvent déclencher des effets cumulatifs et multiplicateurs tels que les économies d'agglomération (Hoover, 1948 ; Marshall, 1890 ; Ohlin, 1933).

Les économies d'agglomération sont des avantages ou des inconvénients que les entreprises locales tirent d'une concentration d'acteurs et d'activités économiques à proximité. Pour constituer formellement des externalités, les coûts ou les avantages doivent être vécus par une entreprise, mais causés par une autre entreprise, sans que les premiers reçoivent de compensation ou versent de compensation à celle-ci (Neffke, 2009). Déjà, il y a plus d'un siècle, Marshall (1890) présentait les avantages potentiels pour les entreprises à choisir leur emplacement spécifique. Il a constaté que les entreprises bénéficieraient davantage d'un environnement avec des entreprises similaires, avec des employés similairement qualifiés et avec un niveau de concurrence relativement faible. La proximité immédiate des entreprises apporte des avantages mutuels : l'augmentation du nombre d'industries intermédiaires, le développement d'un bassin d'emploi spécialisé, ainsi que le partage des ressources et la création d'une structure de coordination propre au district. Ce sont des effets d'économies externes à l'entreprise, abaissant les coûts de production, qui sont à l'origine des rendements croissants provenant d'économies d'agglomération et d'organisation. De manière générale, Alfred Marshall a développé l'idée selon laquelle l'industrie localisée baigne dans une « atmosphère industrielle » :

Les secrets de l'industrie cessent d'être des secrets; ils sont pour ainsi dire dans l'air, et les enfants apprennent inconsciemment [pour] beaucoup d'entre eux. On sait apprécier le travail bien fait; on discute aussitôt les mérites des inventions et des améliorations qui sont apportées aux machines, aux procédés, et à l'organisation générale de l'industrie. Si quelqu'un trouve une idée nouvelle, elle est aussitôt reprise par d'autres, et combinée avec des idées de leur cru; elle devient ainsi la source d'autres idées nouvelles. Bientôt des industries subsidiaires naissent dans le voisinage, fournissant à l'industrie principale les instruments et les matières premières, organisant son trafic, et lui permettant de faire bien des économies diverses » (Marshall, 1890 : 119).

Suivant Duranton et Puga (2004), trois phénomènes principaux expliquent ces économies d'agglomération : le *sharing*, le *matching* et le *learning*. Tout d'abord, un marché plus important permet un partage (*sharing*) plus efficient des infrastructures et des ressources, des fournisseurs et des employés. Ensuite, ce marché plus important permet aussi une meilleure rencontre (*matching*) entre employeurs et employés, entre acheteur et fournisseur et entre partenaires économiques. Cela prend la forme de plus grandes chances de trouver un partenaire plus adéquat. Enfin, un plus grand marché facilite l'apprentissage (*learning*), par exemple en promouvant le développement et l'extension de l'adoption de nouvelles technologies. Glaeser (1999) a développé un modèle dans lequel de jeunes travailleurs migrent dans les grandes villes en raison de l'interaction avec des travailleurs plus expérimentés qui les aideraient à acquérir des compétences plus précieuses sur le marché du travail. Aussi, il a été souligné que les flux d'information et de connaissances étaient facilités dans les agglomérations en raison du faible coût de communication. Les études empiriques de Rauch (1993) et Saxenian (1994) démontrent en effet que les villes fournissent l'opportunité d'une transmission de connaissances. Jaffe *et al.* (1993) montrent cependant que le ruissèlement de connaissances est circonscrit (les brevets citent préférentiellement les brevets provenant du même lieu) et Audretsch et Feldman (1996) trouvent que l'activité innovante se concentre davantage dans les secteurs industriels dans lesquels le ruissèlement de connaissances est crucial.

En plus de faciliter la transmission de connaissances, les villes permettent également la création de nouvelles connaissances. Le travail de Jacobs (1969) est souvent associé avec l'idée que des environnements industriels urbains dotés d'une diversité reliée facilitent la recherche et l'expérimentation dans l'innovation. La proximité géographique joue alors supposément un rôle plus « subtil et indirect » (Howells, 2002) en favorisant d'autres types de proximités, telles que les proximités cognitive ou technologique, institutionnelle, organisationnelle ou sociale Boschma (2005).

1.1.2 Proximités technologiques : *(un)related variety*

1.1.2.a Distance cognitive et distance technologique

Depuis le travail d'Henderson *et al.* (1995), la littérature sur les économies d'agglomération a montré le besoin qu'ont les nouvelles entreprises d'externalités de Jacobs (1969) – soit un ruissèlement de connaissances entre secteurs industriels – pour se développer, alors que des entreprises plus matures bénéficient davantage du ruissèlement intra-sectoriel de connaissances (Glaeser *et al.*, 1992; Neffke *et al.*, 2011).

Une attention particulière a ainsi été portée au degré de parenté entre les technologies utilisées dans les secteurs industriels, car cette proximité affecterait la portée du ruissèlement de connaissances et l'apprentissage interindustriel (Carlsson & Stankiewicz, 1991; Rosenberg & Frischtak, 1983). Les *clusters* industriels ont par exemple été identifiés sur la base de complémentarités technologiques. Nooteboom (2000) montre qu'il est possible d'atteindre une proximité cognitive optimale entre les agents économiques où la distance cognitive ne doit ni être trop grande (pour assurer une communication efficace) ni trop petite (pour éviter le verrouillage), car les deux nuiraient au processus d'apprentissage interactif entre agents. Frenken, Van Oort et Verburg (2007) ont replacé ce concept de distance cognitive dans le contexte des externalités spatiales et de la croissance régionale et se sont référés à l'effet de variété reliée (*related variety*), qui concernait des externalités provenant d'une diversité de secteurs industriels liés dans une région. Proche de l'idée de Nooteboom (2000) d'une distance cognitive optimale, la notion de variété reliée régionale comprend un équilibre délicat entre la proximité cognitive et la distance cognitive entre les secteurs industriels dans une région qui permet aux connaissances de se répandre efficacement entre les secteurs. Ainsi, plus il y a de variété entre les secteurs industriels connexes dans une région, plus il y a d'opportunités d'apprentissage pour les industries locales, plus les retombées intersectorielles des connaissances sont susceptibles de se produire et plus les performances économiques des régions sont élevées. Dans l'ensemble, les études confirment l'importance de la variété connexe pour la croissance régionale aux Pays-Bas (Frenken *et al.*, 2007), en Italie (Boschma & Iammarino, 2009; Quatraro, 2010), en Grande-Bretagne (Bishop & Gripiaios, 2010), en Espagne (Boschma *et al.*, 2016) et en Allemagne (Brachert *et al.*, 2011).

Toutefois, cette proximité cognitive ne doit pas être trop forte et abondante dans une région au risque de voir un verrouillage (*lock-in*) se produire : si les bases de connaissances de deux acteurs sont trop similaires, la probabilité d'une recombinaison innovante est plus faible que lorsque les bases de connaissances dissemblables sont fusionnées. Dans ce cas, la spécialisation est trop forte et moins fertile à des innovations majeures.

A l'inverse, Frenken *et al.* (2007) définissent la variété non reliée (*unrelated variety*). La variété non reliée concerne des secteurs qui n'ont pas de liens économiques substantiels. Un large éventail de secteurs indépendants dans une région peut être très bénéfique pour la croissance régionale, car la variété non connexe diminue les risques face à des crises sectorielles. Lorsqu'un choc spécifique à un secteur se produit, il est peu susceptible de nuire à d'autres industries locales lorsque celles-ci ne sont pas liées, car il n'existe pas de liens substantiels d'intrants et d'extrants (partage de fournisseurs ou de matières premières). Ainsi, la variété non connexe absorbe les chocs sectoriels et stabilise les économies régionales à plus long terme et notamment l'emploi (Essletzbichler, 2005).

La relation entre la distance cognitive entre deux acteurs et leur performance d'innovation devrait donc prendre une forme en U inversée (Cohendet & Llerena, 1997). En d'autres termes, les acteurs très proches et les plus éloignés sont susceptibles d'avoir peu à collaborer aux activités d'innovation. Le niveau optimal de la proximité cognitive découle de la nécessité de garder une distance cognitive (pour stimuler de nouvelles idées par recombinaison) et pour assurer une proximité cognitive (pour permettre une communication efficace et un transfert de connaissances). En outre, une proximité cognitive élevée implique généralement que deux entreprises ont des compétences très similaires, ce qui signifie que lorsqu'elles se livrent à des échanges de connaissances, elles courent un risque sérieux d'affaiblir leur avantage concurrentiel par rapport au partenaire du réseau. C'est aussi pour cette raison que l'on s'attend à ce qu'une proximité cognitive excessive soit nuisible à la performance (Boschma *et al.*, 2008 ; Boschma & Frenken, 2010 ; Nootboom *et al.*, 2007). Par conséquent, ce n'est pas tant la quantité de contacts et l'intensité des échanges de connaissances qui concernent le succès des entreprises, mais plutôt le type de savoir échangé, et comment cela correspond au cœur existant de connaissances des entreprises. À cet égard, la collaboration est très fructueuse lorsque les partenaires ont des bases de connaissances technologiquement liées, mais non similaires.

Dans cette perspective, Castaldi *et al.* (2015) ont montré que les brevets américains issus de la recombinaison de bases de connaissances éloignées étaient davantage susceptibles d'être des percées technologiques majeures (qualité du brevet mesurée par le nombre de citations reçues a posteriori) tandis que la recombinaison de bases de connaissances proches stimulait, quant à elle, la production innovante de façon moindre, mais toujours

positive. Une conclusion de cette étude confirme que l'opposition présumée entre variété connexe et non connexe peut être trompeuse, car les deux types de variété peuvent conduire à l'innovation. La variété reliée augmenterait la probabilité d'innovations en général, alors que la variété non reliée augmenterait la probabilité d'innovations décisives, ce qui en soi est rare. C'est précisément dans ce contexte que Desrochers et Leppalla (2011) ont proposé de « considérer l'essence de l'innovation comme un rapprochement entre des choses qui n'étaient pas liées auparavant ». À la suite de ce raisonnement, on peut comprendre que la structure de la relation entre les technologies évolue, bien que lentement, d'une manière qui est motivée par une innovation radicale qui rend les technologies précédemment non liées pour devenir liées. Castaldi *et al.* (2015) illustre ce phénomène par l'exemple de la voiture. Dans la technologie automobile, diverses technologies existantes ont été recombinaisonnées, notamment la technologie des moteurs, la technologie de la bicyclette et la technologie du transport. Ces technologies étaient en grande partie indépendantes au moment où la technologie de la voiture était encore à ses débuts, mais ont progressivement été reliées par le développement de la voiture. La raison pour laquelle les technologies indépendantes peuvent être liées est que la nouvelle technologie recombinaisonnée crée en elle-même un nouveau contexte où les technologies jusque là éloignées deviennent liées.

Il convient alors naturellement de préciser la définition de ces proximités technologiques ou cognitives, qui déterminent la nature et la puissance des recombinaisons possibles entre bases de connaissance.

1.1.2.b Mesures de la proximité ou de la distance : la connexité

Dans les études sur la diversification économique régionale, les activités ou technologies sont considérées comme reliées lorsqu'elles nécessitent des capacités similaires. Cela nous conduit à nous interroger sur ce que l'on entend exactement par la notion de similarité technologique et aux connexités qui définissent les relations entre secteurs ou entre technologies.

La connexité, c'est-à-dire le fait d'être relié ou proche, a souvent été traitée comme une mesure symétrique : c'est l'idée que la technologie A est considérée comme autant connexe à la technologie B, que B l'est à A. En réalité, il est probable qu'il y ait une asymétrie : A pourrait être connexe à B, mais pas nécessairement l'inverse. Par exemple, les compétences en matériel informatique peuvent être pertinentes pour l'industrie du logiciel, mais les compétences en logiciels peuvent avoir une moindre valeur pour l'industrie du matériel informatique. L'utilisation de cette information sur l'asymétrie dans la rela-

tion pourrait conduire à de nouvelles idées sur la diversification régionale : cela pourrait impliquer que la présence d'un secteur du matériel informatique dans une région facilite la diversification vers l'industrie du logiciel, mais la présence d'une industrie du logiciel dans une région n'augmenterait pas nécessairement la probabilité d'une diversification de la région dans le matériel informatique (Boschma, 2017).

La connexité est souvent comprise en termes de similarité et de complémentarité (Makri *et al.*, 2010). Breschi *et al.* (2003) parlent de la connexité technologique lorsque les deux industries partagent une base de connaissances commune ou complémentaire et s'appuient sur des principes scientifiques et/ou d'ingénierie communs. Des connaissances complémentaires permettent la réunion de différentes technologies et de les combiner (Broekel & Brachert, 2015) et la similarité met l'accent sur le potentiel de ruissèlement des connaissances entre les activités qui partagent des connaissances communes (Neffke *et al.*, 2011). Cependant, la plupart des études utilisent les termes de similarité et de complémentarité de manière interchangeable, même s'il s'agit toutefois de deux notions très différentes puisque la similarité se réfère aux caractères proches des entreprises tandis que la complémentarité devrait se référer à des échanges de type input-output.

Pour mesurer la similarité des secteurs industriels et leurs technologies, beaucoup de méthodes sont en concurrence. Certaines de ces mesures ont été notées comme « proximité », d'autres comme « distance » qui est le concept inverse. Une importante partie des mesures utilise des informations sur les brevets pour calculer des indicateurs de la distance entre différents champs technologiques. En effet, les brevets, au-delà des avantages présentés précédemment, ont la particularité d'être sujets à une classification hiérarchique précise, l'*International Patent Classification* (IPC) dont les codes composant la nomenclature peuvent se décomposer en différents niveaux : classes, sous-classe ou groupe. On peut ainsi mesurer les distances technologiques à différents niveaux à l'aide de mesures de similarités, de cooccurrence, de vraisemblance ou d'entropie sur les brevets, leurs inventeurs ou leurs propriétaires (*applicants*). Par exemple, Frenken *et al.* (2007) considère la variété reliée au niveau des groupes IPC (code d'une lettre suivie de cinq caractères, *five digits*) et la variété non reliée au niveau des classes IPC (code d'une lettre suivie de deux caractères, *two digits*).

Par analogie avec les cartes de la science (Leydesdorff & Rafols, 2009) et de l'économie (Hidalgo & Hausmann, 2009) on peut alors construire une carte des technologies caractérisée par les distances entre les secteurs industriels et technologiques (Rigby, 2015). Une telle carte peut fournir une information utile pour le développement industriel futur d'une région ou d'un pays, les avantages comparatifs et le manque de développement de certains secteurs.

La proximité technologique suppose que ni la proximité géographique ni la proximité sociale ou institutionnelle ne seraient donc en théorie requises pour un échange de connaissances inter-organisationnel. En principe, un transfert de connaissances effectif ne présuppose pas une confiance profonde ou une interaction en face à face entre les entreprises. Cependant, les proximités technologiques ne sont souvent pas suffisantes pour expliquer les flux de connaissances entre et dans les régions. En effet, il a été montré que les proximités institutionnelles, organisationnelles et sociales interviennent en complémentarité pour un échange de savoir important.

1.1.3 Proximités organisationnelles, sociales et institutionnelles : *embeddedness*

Un autre versant de la proximité entre les acteurs doit alors être exploré : la proximité relationnelle des acteurs sociaux, des organisations et des institutions. Quels sont les impacts de ces relations sur l'innovation ?

Ces proximités sont associées aux structures, aux relations et aux processus qui proviennent, par exemple, de la dynamique sociale, des structures de gouvernance, de la régulation et des identités culturelles qui forment ensemble l'encastrement (*embeddedness*) de l'action sociale (Granovetter, 1985). Dans un intérêt important sur ces proximités, la discussion est centrée sur l'importance des normes partagées, des institutions et de la réglementation, la compréhension mutuelle, la confiance et les codes de conduite, les organisations et les cultures pour la collaboration et l'échange de connaissances (Boschma, 2005 ; Gertler, 2003). Un certain degré de proximité relationnelle entre les acteurs clés est une condition nécessaire à un échange fructueux de connaissances et à une collaboration dans une zone transfrontalière. Il est donc nécessaire de rendre compte comment interviennent ces proximités organisationnelles (1.3.1), sociales (1.3.2) et institutionnelles (1.3.3) dans les échanges de connaissances.

1.1.3.a Proximités organisationnelles

La proximité créée par l'appartenance de membres à la même organisation ou la même communauté professionnelle, peut être appelée proximité organisationnelle. Les organisations sont caractérisées par un système commun de valeurs, de pratiques et de représentations qui tend à homogénéiser les comportements individuels dans différentes situations, comme la façon de penser ou la résolution de problèmes. Les entreprises sont donc des organisations dans le sens où elles rassemblent des membres unis par un but et des va-

leurs communes et qui mettent leurs moyens en commun, et sont coordonnées par une hiérarchie et des règles dans une recherche d'efficacité. Cette culture collective et technique garantit que les membres aient la même interprétation des textes, informations et connaissances échangés, même s'ils sont localisés dans des lieux différents.

Il est alors suggéré que la proximité organisationnelle est un soutien important à l'échange de connaissances tacites, au moins autant que la proximité géographique. En effet, des individus peuvent être proches géographiquement et toutefois agir comme des étrangers. La proximité géographique est effective seulement si elle coïncide avec l'existence de relations sociales, organisationnelles ou institutionnelles (Boschma, 2005).

Les membres d'une organisation partageant un savoir commun, les proximités organisationnelles et les réseaux de connaissances qu'elles impliquent sont alors entendus comme des communautés de pratiques qui façonnent des routines et des pratiques facilitant la production et le partage de connaissances tacites (Brown & Duguid, 2000; Wenger, 1998; Wenger & Snyder, 2000). La proximité organisationnelle pourrait être plus importante que la proximité géographique dans le support à la production, l'identification, l'appropriation et la navigation de la connaissance tacite (Amin & Cohendet, 1999, 2000). La géographie de la connaissance tacite résultante est distincte de celles priorisant les proximités géographiques ou technologiques. Par ce moyen, la production et la transmission conjointes de la connaissance tacite à travers les frontières intra-organisationnelles sont possibles par la médiation des communautés sociales extra-organisationnelles, telles que celles issues de proximités sociales ou institutionnelles.

1.1.3.b Proximités sociales

La notion de proximité sociale dérive de la littérature des réseaux sociaux et notamment de la notion d'encastrement (Granovetter, 1985). En substance, la littérature indique que les relations économiques sont en quelque sorte encadrées dans un contexte social. Réciproquement, les liens sociaux ou relations affectent les résultats économiques. La littérature sur l'encastrement suggère que plus les relations d'une firme sont encadrées, plus l'apprentissage interactif est important et meilleure est la performance innovatrice. Mais comme l'ont montré Boschma *et al.* (2002) et Uzzi (1997), trop de proximité sociale (un encastrement des relations sociales trop important) peut affaiblir la capacité d'apprentissage des organisations, mais une trop grande distance sociale peut nuire à l'apprentissage interactif et à l'innovation. La proximité sociale est définie ici en termes de relations socialement encadrées entre agents au niveau micro. Les relations entre acteurs sont socialement encadrées quand elles impliquent une confiance basée sur l'amitié, la parenté ou

l'expérience. Par conséquent, la définition de la proximité sociale n'inclut pas les situations dans lesquelles les personnes partagent des valeurs telles que des valeurs ethniques ou religieuses. Cet aspect de proximité culturelle de niveau meso (communautaire) ou de niveau macro (global) pourrait être associé avec la notion de proximité institutionnelle.

La capacité des organisations à soutenir l'apprentissage et l'innovation peut requérir de la proximité sociale. Une des raisons principales en est la confiance qui facilite l'échange de connaissances tacites qui est, par nature, plus difficile à communiquer et échanger dans des organisations concurrentielles de type « marché » (Maskell & Malmberg, 1999). Lundvall (1992) a démontré que la proximité sociale encourage une attitude sociale et ouverte de « rationalité communicative » visant à collaborer et partager ses connaissances, plutôt qu'une orientation de marché purement calculatoire et étroite à minimiser les coûts. Ceci est souvent vu comme un prérequis pour l'apprentissage interactif. De plus, la proximité sociale réduit, mais n'élimine pas, le risque de comportement opportuniste. L'apprentissage interactif effectif requiert des relations durables et engagées, à l'opposé des pures relations de marchés qui se rompent dès que des problèmes surviennent entre les partenaires de l'échange.

Cependant, trop de proximité sociale peut avoir des effets inverses sur l'apprentissage et l'innovation. D'abord, des relations encastrées dans lesquelles la loyauté est impliquée peuvent conduire à une sous-estimation des opportunités quand les relations sont basées sur les liens émotionnels de l'amitié ou de la parenté (Uzzi, 1997). Par conséquent, un comportement trop social peut avoir des conséquences négatives dans un monde d'acteurs calculateurs, dans des marchés où les technologies et politiques changent continuellement et aléatoirement et où l'opportunisme est une attitude commune. Ensuite, des relations de long terme, ou trop engagées, peuvent verrouiller les membres des réseaux sociaux dans des sentiers routiniers au détriment de leur propre capacité d'apprentissage et d'innovation. Par exemple, des systèmes fermés créent des « coûts d'opportunité », dans lesquels des entrepreneurs ou d'autres outsiders avec de nouvelles idées ne peuvent pas entrer.

Ainsi, d'un côté une trop faible distance sociale dans les relations économiques peut affaiblir la capacité innovatrice des firmes en raison d'une surcharge de fidélité entre les acteurs. D'un autre côté, trop peu de proximité sociale peut être nuisible pour l'apprentissage interactif et l'innovation en raison d'un manque de confiance entre les acteurs. Par conséquent, plus les relations économiques sont imbriquées, meilleure est la performance innovatrice des firmes, jusqu'à un niveau optimal au-delà duquel elles s'exposent à des effets négatifs en raison du verrouillage.

Selon Uzzi (1997) et Boschma *et al.* (2002), on peut imaginer une relation suivant une courbe en U inversé entre l'encastrement social et la performance innovatrice d'une firme : il existerait alors un degré d'encastrement optimal pour une firme, la dimension sociale des relations économiques et d'apprentissage ayant une influence positive sur la performance d'une entreprise jusqu'à une certaine limite après laquelle ces effets deviennent négatifs quand les relations sont trop encastrees.

Dans leur étude sur le secteur aéronautique aux Pays-Bas, Broekel et Boschma (2012) ont étudié comment la proximité sociale accroissait la probabilité de connexion et d'échange de connaissances entre acteurs. Dans cette perspective, leur étude montre que la proximité sociale aide à établir et maintenir des liens dans un réseau de connaissances, mais cela permet également une meilleure utilisation de ce réseau pour la promotion de la performance innovatrice. Ils suggèrent toutefois qu'une coordination institutionnelle peut être nécessaire pour la réalisation de projets d'innovation.

1.1.3.c Proximités institutionnelles

Tandis que la proximité sociale a été définie en termes de relations socialement encastrees au niveau micro-géographique (basée sur l'amitié, la confiance et l'expérience), la proximité institutionnelle peut être associée avec le cadre institutionnel au niveau macro. On peut suivre North (1990) qui fait la distinction claire entre l'environnement institutionnel au niveau macro (tel que les normes ou des valeurs de conduite) et les arrangements institutionnels au niveau micro dans lequel les normes et les valeurs sont incorporées dans des relations d'échanges spécifiques. Comme mentionné précédemment, ce dernier aspect a été couvert par les notions de proximité sociale et organisationnelles. Aussi, les proximités sociales, organisationnelles et institutionnelles peuvent être fortement interconnectées puisque les relations intra- et extra-organisationnelles sont profondément encastrees dans des cadres institutionnels.

Edquist et Johnson (1997 : 46) définissent les institutions comme « *un ensemble d'habitudes et routines communes, de pratiques, lois ou règles établies qui régulent les relations et les interactions entre les individus et les groupes* ». Les institutions fonctionnent comme une sorte de « glue » des actions collectives, car elles réduisent les incertitudes, diminuent les risques et les coûts de transaction. Les institutions formelles, telles que les lois, les hiérarchies ou les règles, et les institutions informelles, telles que les normes culturelles et les habitudes, influencent la portée et la façon dont les acteurs ou les organisations coordonnent leurs actions. Aussi, les institutions sont des phénomènes permissifs et contraignants qui affectent le niveau de transfert de connaissances, d'apprentissage

interactif et donc d'innovation. Suivant la distinction entre les institutions formelles et informelles, la notion de proximité institutionnelle inclut à la fois l'idée d'acteurs économiques partageant des règles communes et un ensemble d'habitudes culturelles (Zukin & Di Maggio, 1990). Un langage commun, des habitudes partagées, un système de lois sécurisant la propriété intellectuelle fournissent une base pour la coordination économique et l'apprentissage interactif. Une culture de la confiance partagée, par exemple, est souvent regardée comme une capacité qui encourage l'apprentissage et l'innovation : l'information est transmise plus facilement avec une proximité culturelle et un langage commun (Maskell & Malmberg, 1999).

Aussi, la proximité institutionnelle est un facteur décisif dans la fourniture de conditions stables pour qu'un apprentissage interactif ait effectivement lieu. Cependant, cela pourrait également être un facteur contraignant freinant l'apprentissage collectif et l'innovation. En effet, un environnement institutionnel consiste en un ensemble d'institutions interdépendantes. Hall et Soskice (2001) parlent de « complémentarités institutionnelles » qui indiquent que l'efficacité d'une institution accroît l'efficacité des institutions complémentaires. Cette interdépendance mutuelle de différentes parties d'un système institutionnel peut cependant causer une certaine inertie. Quand chaque élément dans un tel système complexe a une position structurelle, un changement apporte de l'instabilité, car les positions entre les éléments sont perturbées (Hannan & Freeman, 1977). Ceci a pour résultat, d'une part l'absence ou le peu de changements et d'autre part des changements mineurs qui n'affectent pas l'entièreté du système. Grabher (1993) a porté l'attention sur les réseaux tournés vers l'intérieur (*inward looking networks*), consistants en de puissants acteurs institutionnels qui réagissent au changement d'une façon très conservatrice, spécialement lorsque leurs intérêts sont menacés ou lorsqu'ils ont des obligations envers d'autres acteurs du réseau. En somme, d'un côté un système institutionnel peut évoluer dans une situation de verrouillage, ne fournissant aucune opportunité pour les nouveaux arrivants, de l'autre, il peut conduire à une inertie institutionnelle freinant le développement de nouvelles innovations qui requiert la construction, la reconstruction ou la restructuration d'anciennes structures institutionnelles (Freeman & Perez, 1988). Ceci a pour résultat que la rigidité institutionnelle ne laisse pas de place à l'expérimentation, car de nouvelles institutions sont requises pour des implémentations fructueuses de nouvelles idées et innovations.

Dans d'autres mots, trop de proximité institutionnelle n'est pas particulièrement favorable pour de nouvelles idées et innovations en raison du verrouillage institutionnel (obstruant l'émergence de nouvelles possibilités) et de l'inertie (lenteur des réajustements institutionnels). D'un autre côté, une trop grande distance institutionnelle est défavorable

à l'action collective et l'innovation en raison du manque de cohésion sociale et valeurs communes.

Lorsqu'ont été comparés les effets relatifs de la proximité institutionnelle et de la proximité organisationnelle sur les flux de connaissances, il a été trouvé que les liens institutionnels bénéficient davantage de la proximité géographique que les liens organisationnels (Kogut, 1988 ; Zaheer *et al.*, 1998). Il a aussi été constaté que les liens institutionnels exigent de la proximité géographique pour servir de canaux de connaissances, alors que la proximité géographique n'exerce aucune influence sur le flux de connaissances à travers les liens organisationnels. Le manque d'effet de la proximité et des liens organisationnels sur les flux de connaissances reflète le caractère plus permanent et durable des liens organisationnels par rapport aux liens institutionnels. Plus précisément, les liens organisationnels sont créés pour accomplir un but essentiel à l'organisation, dont la transmission de connaissances (Kogut, 1988) et, au fil du temps, ces liens peuvent être imprégnés d'affects et de confiance (Zaheer *et al.*, 1998), alors que les liens institutionnels sont le sous-produit de décisions au niveau institutionnel. Par conséquent, contrairement aux liens organisationnels, les liens institutionnels intègrent bien plus faiblement la confiance directe fondée sur l'expérience, laquelle est nécessaire pour transmettre le savoir sur la distance. En conséquence, le transfert des connaissances se produira seulement lorsque les liens institutionnels sont à proximité géographique.

Grâce aux proximités technologiques, sociales ou organisationnelles, les relations et échanges de connaissances peuvent dès lors s'effectuer sur des distances géographiques qui transcendent les limites du ruissèlement local des connaissances. Dans ce contexte, c'est davantage la position des liens dans le réseau qui va influencer sur la puissance et la pérennité de ces liens.

1.2 Facteurs de positionnement

Il est ainsi établi que la concentration géographique des acteurs, leurs proximités technologique, sociale, organisationnelle et institutionnelle favorisent la génération d'externalités et les retombées de connaissance. Cependant, il ne suffit pas de compter sur les flux et les développements internes dans ces réseaux internes de connaissances. Les agglomérations ne sont pas les seuls moteurs des dynamiques de production de la connaissance et il est largement accepté qu'il s'agit d'un phénomène multi-scalaire (Asheim & Isaksen, 2002 ; Bathelt *et al.*, 2004 ; Martin, 2012 ; Moodysson, 2008). Aussi, les acteurs de l'innovation bénéficient de leurs positions dans leurs réseaux respectifs aux différentes échelles. Dans cette partie nous allons voir quelles positions sont avantageuses dans les réseaux de proximités vus précédemment.

1.2.1 Positions dans un réseau technologique

Un certain nombre de phénomènes dynamiques de la production de connaissances ont trait à la position des technologies dans leur réseau de proximité cognitive. La distance technologique permet non seulement de mieux comprendre les éléments constitutifs des changements technologiques, mais aussi dans sa direction. Parce que les technologies évoluent comme une nouvelle combinaison réussie de technologies existantes, les innovations reposent sur toute une série d'inventions et de connaissances à partir de l'état actuel du développement technologique. Kauffman (1995) a inventé l'expression des « plus proches voisins possibles » pour l'ensemble de toutes ces combinaisons de premier ordre. La notion capte à la fois les limites et le potentiel créatif du changement et de l'innovation technologique. Le voisin possible définit toutes les technologies directement réalisables à partir d'un ensemble existant de compétences. Le voisin possible est une sorte d'avenir de l'ombre, sur le bord de l'état actuel de la connaissance, une carte de toutes les façons potentielles dont le présent peut se réinventer. Chaque nouvelle technologie ouvre la possibilité d'autres nouvelles technologies dans un processus de ramification dépendant du chemin. En d'autres termes, les nouvelles connaissances technologiques sont développées à partir des compétences existantes incorporées dans les connaissances tacites, les compétences et les infrastructures. En conséquence, la mesure dans laquelle un groupe, une région ou un pays peut tirer profit de la connaissance créée par d'autres dépend de la distance technologique entre le créateur et l'utilisateur de ces connaissances. Une mesure de la distance technologique peut donc non seulement servir à identifier les modèles passés de développement technologique, mais aussi à identifier des éléments de base fructueux et des orientations pour le développement technologique futur.

Des études ont démontré que la base technologique spécifique d'une région influait sur la diversification de celle-ci. En effet, les régions seraient plus à même de développer et de diversifier des secteurs technologiques qui sont proches des activités existantes (Balland *et al.*, 2013; Neffke *et al.*, 2011). Boschma et Frenken (2007) décrivent ce processus comme une « ramification régionale » (*regional branching process*), dans laquelle les nouvelles activités se développent par proximité technologique aux activités en place et où les connaissances existantes sont recombinaées. En outre, en plus du fait qu'un secteur a plus de probabilité d'entrer dans une région qui comporte des secteurs technologiquement proches, Neffke *et al.* (2011) ont aussi trouvé qu'un secteur industriel avait une probabilité significativement plus élevée de sortir d'une région, lorsqu'il avait peu ou pas de secteurs technologiquement proches. En somme, l'évolution de la composition industrielle d'une région serait hautement conditionnée par les proximités technologiques.

Se pose alors la question de la relation entre la position technologique locale et la position technologique globale. Heimeriks et Boschma (2014) ont exploré la relation entre la fluctuation des sujets de recherche dans différents types de villes et l'ensemble des sujets de recherche dans le monde. Prenant l'ensemble du monde comme référence, ils ont fourni la preuve que le processus de ramification par proximité technologique se produit à l'échelle mondiale et a une incidence sur l'échelle locale. Ils ont alors décrit l'évolution de la connaissance scientifique comme une interaction dynamique entre l'échelle mondiale et l'échelle locale, dans laquelle les connaissances codifiées et accessibles disponibles dans les revues internationales de premier plan interagissent avec les processus de production scientifique localisés géographiquement. Ceci tendrait à prouver le modèle de Bathelt *et al.* (2004) qui voyait la production locale d'innovation comme l'interaction du *buzz local* de connaissances tacites et des *pipelines globaux* de connaissances codifiées.

Il est cependant hautement possible que certaines nouvelles technologies soient des nouveautés réelles, à savoir qu'elles aient peu ou pas de technologies connexes au moment où elles ont émergé. Krafft *et al.* (2011) ont utilisé des documents de brevet pour identifier un certain nombre de discontinuités dans l'évolution de la base de connaissances en biotechnologie, comme le développement d'une nouvelle génération de biotechnologies liée à la bio-informatique. En utilisant les outils des réseaux sociaux, ils ont capturé à la fois une nouveauté authentique grâce à l'émergence de thématiques complètement nouvelles (telles que proposées par les nouvelles classes de brevets) qui constituent des nœuds importants du réseau, et ils ont identifié par ailleurs des recombinaisons, grâce à la création de nouveaux liens entre les nœuds existants.

Dans une perspective géographique, il pourrait être intéressant de tester si ces nouvelles technologies ont davantage de probabilité d'entrer dans des agglomérations qui sont fai-

blement ou hautement spécialisées et si une diversification se produit davantage dans des villes très spécialisées. De plus, comme l'espace technologique montre explicitement ce qu'une technologie a besoin comme autres technologies connexes pour se développer, cela pourrait aider les chercheurs et les autorités politiques à déterminer des axes de développement à partir de compétences manquantes. Les positions dans les réseaux de technologies sont donc largement influentes dans les processus d'évolution des bases industrielles des régions. Toutefois, une attention doit être portée sur les réseaux sous-jacents à ce réseau technologique, les réseaux sociaux des acteurs, qui participent également à façonner les espaces technologiques des régions.

1.2.2 Positions dans un réseau social : trous structuraux et *gatekeepers*

La proximité technologique crée un espace technologique, un réseau de technologies liées dont les positions respectives influencent l'évolution de la base technologique d'une région. On peut alors se demander si les positions des acteurs de la production d'innovations dans leurs réseaux sociaux n'ont pas également une influence sur la production d'innovations.

1.2.2.a Liens faibles et trous structuraux

Il est d'abord probable que la centralité d'un acteur dans son réseau social influe sur les innovations qu'il peut développer. Une hypothèse proéminente formulée par Granovetter (1973, 1985, 2005) repose sur l'idée que les « liens forts » caractérisent un réseau dense d'acteurs mutuellement reliés entre eux (Granovetter, 1973). Étant donné que les acteurs de ce groupe ont tendance à interagir fréquemment, une part importante de l'information circulant dans ce système social est redondante. Granovetter affirme que les nouvelles informations sont principalement obtenues grâce à des relations avec des acteurs qui ne sont pas membres de la partie dense du réseau : il souligne ainsi l'importance des « liens faibles » dans l'innovation et la recherche d'information nouvelle plutôt que les relations plus intenses (liens forts).

Cependant, cet argument dans le contexte de l'activité innovante peut être problématique pour plusieurs raisons. D'abord, cette théorie suppose que la collecte d'informations par des liens faibles puisse être plus importante que la confiance qui est la caractéristique des liens forts. De toute évidence, le fait que les liens faibles ou forts soient les plus appropriés pour le transfert de connaissances dépend de l'acteur en question. Bien que les

liens forts soient plus adaptés à un échange de connaissances complexes et tacites, les liens faibles pourraient être plus profonds pour la recherche d'informations (Hansen, 1999). Une deuxième opposition contre l'argument de Granovetter est que son analyse originale (Granovetter 1973) se réfère uniquement à des relations dyadiques et non à des réseaux entiers. Troisièmement, comme l'a déclaré Burt (1992), les avantages de l'information devraient parcourir tous les ponts, forts ou faibles.

Burt (1992) fait valoir que la similarité des nœuds ne peut pas être considérée comme la raison principale de l'accès à de nouvelles informations, mais bien plutôt les relations non redondantes et la position qui fait le pont entre deux *clusters* dans un réseau, c'est-à-dire un acteur ou un couple d'acteurs qui permettent de franchir un « trou structurel ». Le concept de trous structurels permet d'identifier les liens entre groupes d'agents appartenant à des sous-réseaux denses distincts. Un acteur assumant une telle position d'intermédiaire établit un lien entre des sources de connaissances et d'informations auparavant non reliées ce qui lui donne une position privilégiée, puisqu'il bénéficie de la possibilité de combinaison de deux bases de connaissances. Par conséquent, le « pontage » d'un trou structurel crée un avantage pour l'acteur réalisant le pont (Burt, 1992).

Cependant, il a été observé que certains réseaux fermés produisent des rendements plus élevés d'innovation pour leurs membres par rapport aux réseaux ouverts en raison d'un niveau de confiance et de cohésion plus élevé dans un groupe fermé (Gudmundsson & Lechner, 2006). Il a aussi été montré que la cohésion et le pontage de trous structurels ne sont pas nécessairement en conflit, mais peuvent être combinés de manière productive (Kadushin, 2002). Par conséquent, les trous structurels peuvent être considérés comme une source de valeur ajoutée, alors que la cohésion et les *clusters* du réseau peuvent être essentiels pour à la fois propager et attirer les connaissances et informations issues d'un pontage de trou structurel (Burt, 2001).

Aussi, l'effet direct de la structure du réseau social sur la performance innovatrice a été prouvé par Kauffeld-Monz (2010) et Zaheer et Bell (2005) montrent que l'accès aux trous structurels augmente la performance de l'entreprise. Dans l'étude de Zaheer et Bell (2005) ce sont cependant davantage les avantages pour la vitesse de circulation des connaissances procurés par l'accès aux trous structurels qui sont observés : par exemple, l'accès rapide à de nouvelles informations peut être reflété à la fois dans les nouveaux produits et services (qui apparaîtraient comme des innovations qui améliorent les performances) et aussi en termes de campagnes de marketing rapidement déployées pouvant influencer directement la performance de l'entreprise. De façon plus générale, ils montrent que dans des contextes où la vitesse de l'innovation des nouveaux produits est élevée et une réponse

rapide aux mouvements du marché impératifs au succès de l'entreprise, il est probable qu'un réseau riche en trous structurels soit plus efficace qu'un réseau fermé.

On peut dès lors s'interroger sur les acteurs dont les positions permettent de faire le lien aussi bien entre des bases de connaissances différentes qu'entre des groupes identifiés à des échelles différentes : ils sont souvent appelés les *gatekeepers*, ceux qui gardent les portes de la connaissance entre différents groupes.

1.2.2.b *Gatekeepers* et attachement préférentiel

Certains acteurs occupent des positions préférentielles dans le réseau social du système d'innovation. Sur la base de ces idées, nous suivons Giuliani et Bell (2005), Malipiero *et al.* (2005) et Morrison (2008), entre autres, et utilisons le terme « *gatekeeper* » pour caractériser les acteurs qui jouent deux fonctions au sein du système d'innovation : la relation avec les acteurs distants et la diffusion du savoir au sein du système local. Giuliani et Bell (2005) soulignent l'importance de la capacité d'absorption pour l'acquisition de connaissances externes sur la base d'une étude d'un *cluster* chilien de vins.

Morrison (2008) montre que les entreprises leaders dans un quartier de meubles italien sont bien connectées à des sources externes, mais seulement dans une mesure limitée à d'autres entreprises de district. De l'étude d'un parc scientifique et technologique français, Lazaric *et al.* (2008) supposent que des efforts supplémentaires sont nécessaires pour diffuser les connaissances acquises de l'extérieur dans le système local. En général, cette littérature suggère que les *gatekeepers* sont d'une importance vitale pour le succès soutenu du système respectif. Cependant, ces résultats sont largement basés sur des études de cas de régions isolées, ils sont généralement limités à une technologie spécifique et l'analyse empirique est essentiellement statique.

Une interaction forte des acteurs innovants au sein d'un réseau local est généralement appelée à accroître le stock de connaissances propre à la région, ce qui donne un avantage comparatif. Cependant, il pourrait également conduire à une situation de verrouillage si les trajectoires locales sont dirigées vers des solutions internes au territoire. C'est pourquoi Bathelt *et al.* (2004) et Graf (2011) ont fait valoir que les *clusters* réussis se caractérisent par l'existence de *gatekeepers*, c'est-à-dire d'acteurs qui génèrent de la nouveauté en s'appuyant sur des connaissances locales et externes. Graf (2011) a étudié l'impact des positions des acteurs sur leur performance innovatrice. Ils montrent des preuves claires sur le rôle positif du nombre de liens que possèdent les acteurs sur l'innovation : un plus grand nombre de liens peut être associé à une plus grande diversité des bases de connais-

sances qui ouvrent des opportunités pour d'autres progrès de la connaissance. En ce qui concerne les caractéristiques des *gatekeepers*, il montre que la capacité d'absorption est plus importante que la taille (Graf, 2011) et que les organismes publics de recherche, plus que les acteurs privés, remplissent les fonctions de *gatekeepers*. En effet, les universités et les instituts de recherche publics sont des candidats préférentiels à une telle position puisqu'ils possèdent non seulement la capacité d'absorption pour attirer des connaissances externes, mais aussi des incitations à diffuser localement la connaissance dans le cadre de leur mission publique (Graf & Krügler, 2011). Étant dotés d'une grande intermédiation, connectant des acteurs et des groupes entre eux, le *gatekeeper* contrôle ainsi les flux de connaissances dans le réseau, ce qui lui donne un pouvoir et une influence certains dans le système d'innovation (Tortoriello & Krackhardt, 2010).

Comme ces acteurs sont décisifs dans l'obtention de nouvelles connaissances et dans leur diffusion, les nouveaux acteurs entrant dans le réseau auront davantage tendance à s'y attacher : c'est ce que l'on appelle le phénomène d'attachement préférentiel (Barabasi & Albert, 1999). Ainsi, les réseaux d'acteurs de l'innovation auraient tendance à s'articuler autour d'acteurs particuliers ayant une position préférentielle en raison de leur capacité d'absorption, soit pour un acteur ou une entreprise le spectre des nouvelles connaissances diverses qu'il est en mesure de comprendre, d'absorber.

En s'agglomérant sur des territoires particuliers, les acteurs, leurs proximités et leurs positions créent alors une position pour ces territoires dans les systèmes de villes globaux, avec leurs relations hiérarchiques de pouvoir et de commandement.

1.2.3 Positions dans un réseau géographique

À la suite d'Ullman (1954), on peut dire que le lieu est (économiquement ou socialement) indépendant et existe seul, mais est entrelacé dans un réseau d'interactions et d'interdépendances, puisqu'il possède une position dans un réseau géographique et dans l'économie mondiale. À cet égard, le site et la situation ne sont plus séparés, mais intégrés de manière systématique, la ville devient « *un système dans un système de villes* » (Berry, 1964). Ceci est particulièrement utile lors de l'interprétation de la spécialisation fonctionnelle de certains lieux dans le contexte des réseaux et flux de connaissances. De fait, on peut se demander comment la position d'une ville dans ce réseau mondial affecte les connaissances qu'elle peut recevoir.

Hägerstrand (1968) explique que la diffusion spatiale des innovations dépend du réseau social des relations interpersonnelles. Dans une première étape, les innovations se ré-

pandent entre les grands pôles de l'innovation, car les proximités organisationnelles et sociales y sont les plus importantes. Ensuite, les innovations se propagent selon la hiérarchie du réseau de villes et enfin par proximité géographique.

Au-delà des réseaux physiques de communication, les liens organisationnels ou sociaux qui relient les villes sont donc prépondérants dans la diffusion et l'accès rapide à une innovation. D'ailleurs, la plupart des études sur le réseau mondial des villes prennent comme mesures de position de celles-ci les liens organisationnels des entreprises : de nombreuses firmes sont multi-localisées par le biais de filiales implantées dans des lieux stratégiques dont le pouvoir est justement apporté par ces concentrations d'entreprises (Rozenblat, 2010 ; Taylor, 2004).

Ces réseaux d'entreprises peuvent constituer une partie non négligeable des réseaux de connaissances. S'appuyant sur des acteurs locaux importants qui diffusent la connaissance obtenue via les pipelines globaux, les organisations locales bénéficient de l'accès à une diversité de marchés et de sources de connaissances au niveau macro (Dunning, 2002 ; Rozenblat, 2010). Aussi, cela favorise la combinaison de nouvelles connaissances en combinant les connaissances issues de l'organisation avec les spécialisations locales qui sont fondées sur un savoir-faire qui n'est pas facilement transférable d'un environnement à l'autre (Colletis *et al.*, 1997).

Dans cette chaîne de valeur globale, les liens interurbains mettent en relation des ensembles d'actifs exploités dans les réseaux locaux. Ainsi, l'attractivité mondiale devrait prendre en compte les capacités internes des villes afin de créer des effets cumulatifs (Zimmermann, 2002). Comme Hall et Pain le suggèrent, « *le degré d'interrelation entre les villes reflète la concentration des services avancés en leur sein : mais inversement, cette concentration reflète le degré de connectivité réelle et potentielle entre elles ; le processus est circulaire et cumulatif* » (Hall & Pain, 2006 : 7).

Les flux de connaissance ayant donc un impact sur la localisation via la génération d'externalités, combinés aux conditions de la mondialisation où les villes sont soumises à des processus renforcés de concurrence, la question est alors de savoir si la ville devient un support ou un producteur d'émergence.

La centralité, appliquée aux villes dans le contexte de la mondialisation et des réseaux urbains mondiaux, a été identifiée comme le catalyseur de deux processus apparentés, mais opposés : la concentration et la diffusion. Premièrement, la centralité a été utilisée pour désigner la concentration des ressources dans des villes particulières ou, plus précisément, la structure des flux de ressources qui facilitent cette concentration. L'hypothèse

de Friedmann sur la ville mondiale a proposé que « *les principales villes du monde sont utilisées par le capital mondial comme point de départ et sont des nœuds pour la concentration et l'accumulation du capital international* » (Friedmann, 1986 : 73). Cependant, la centralité a été utilisée pour décrire l'arrangement structurel des flux de ressources qui facilitent la diffusion des idées, du capital et des personnes. C'est-à-dire qu'une position centrale dans le réseau urbain mondial peut conduire non seulement à la concentration des ressources au sein d'une ville, mais, en dotant une ville d'une influence plus large au niveau du système urbain, elle peut également conduire à la diffusion efficace de ces ressources à travers le réseau, l'innovation se propageant en partie selon la hiérarchie du système urbain (Neal, 2011 ; Pumain, 2006 ; Rozenblat & Pumain, 2007) .

Souvent, ces deux aspects de centralité - concentration et diffusion - se croisent pour donner aux villes un double avantage structurel, en tant que sites où le capital converge et se rassemble à partir de nombreuses sources, mais aussi comme positions du réseau où les innovations et les connaissances peuvent se répandre rapidement et largement dans tout le réseau. Dans de telles conditions, on peut alors parler de *hubs* de connaissances (Derudder *et al.*, 2014).

Une source décisive d'avantages pour une agglomération provient donc de la capacité des acteurs locaux de combiner leurs connaissances locales avec d'autres bases de connaissances, qu'elles soient localisées à l'intérieur ou à l'extérieur de l'agglomération. Ces bases de connaissances locales sont accumulées, stockées au cours du temps. Les trajectoires et possibilités de combinaisons futures de connaissances sont donc liées dans une certaine mesure au stock de connaissances accumulées, et donc à l'histoire, à l'état antérieur du système.

1.3 Facteurs de trajectoire, facteurs évolutifs

Les territoires et les systèmes d'innovation qu'ils supportent ne sont toutefois pas statiques. Ces réseaux d'innovation sont le résultat d'une histoire et sont en permanente évolution. En tant que système complexe, la compréhension du comportement global implique la compréhension de la dynamique des multiples sous-réseaux. On parle à ce sujet de l'émergence d'un comportement complexe global à partir des interactions collectives et des actions individuelles des composants de ce système (Mitchell, 2006). Ainsi, afin de comprendre le comportement du système d'innovation, il convient de s'intéresser aux dynamiques des multiples sous-réseaux qui le composent. Le point de départ essentiel de toute théorie de l'évolution du réseau est la question de savoir « *comment les dimensions structurelles d'un réseau de communication inter-organisationnel au temps $t-1$ affectent les interactions entre les organisations membres – en particulier leur formation de liens avec d'autres organisations – au temps t ?* » (Kenis & Knoke, 2002 : 277-278). La trajectoire du réseau (Kilduff & Tsai, 2003) est un concept approprié dans l'analyse de l'évolution du réseau qui combine les notions d'évolution, de réseau et de géographie : elle décrit une trajectoire de développement géographiquement et historiquement spécifique au réseau dans laquelle la formation et la dissolution des liens à des stades antérieurs génèrent des propensions cumulatives pour la formation et la dissolution des liens à l'avenir et dans laquelle les mécanismes de perturbation de la trajectoire et de variation sont endogènes. Cette approche passe, au-delà de l'analyse dyadique des relations uniques, à l'analyse de réseaux entiers de relations et des conditions de leurs changements évolutifs.

De nouvelles relations peuvent exister entre les acteurs en place qui ont des liens historiques dans le réseau ou de nouvelles entreprises sans aucune relation antérieure. L'évolution du réseau doit donc prendre en compte à la fois l'émergence et la disparition des liens et des nœuds. Aussi, l'interaction est coûteuse et, en tant que telle, une ressource rare. La sélection des liens peut alors se poser comme un problème d'allocation efficace des relations parce que les réseaux empiriques sont impossibles à être totalement connectés. La loi du N-carré indique que le nombre de contacts possibles augmente à peu près comme le carré du nombre d'acteurs dans un réseau (Krackhardt, 1994). En d'autres termes : « *la plupart des choix sont impossibles pour la plupart des gens* » (McPherson *et al.*, 1992 : 168). Bien que le nombre de relations potentielles dépende de la dotation en ressources des acteurs et du type de relation, il y a toujours une limite à la capacité d'un acteur à se relier à d'autres acteurs.

De plus, du point de vue de l'utilité, l'ensemble des liens d'une entreprise peut donner des rendements différentiels sur les relations investies. L'un des principaux motifs de re-

lations durables avec d'autres acteurs est d'avoir accès à des ressources externes (Pfeffer & Salancik, 2003). Cela, à son tour, augmente ou diminue l'attractivité d'un acteur pour les futurs partenaires de l'alliance. La sélection des liens peut alors être conçue comme l'attribution concurrentielle de relations rares, où l'engagement dédié à une relation invoque des coûts d'opportunité pour chaque contact non réalisé. Ces conditions suggèrent que le choix des liens est un processus compétitif qui dépend des changements exogènes ainsi que de la dynamique endogène (Glückler, 2007).

On peut observer des changements considérables dans la composition industrielle, les activités d'innovations et les réseaux sociaux des territoires sur le temps long. Ces changements tel qu'ils ont été théorisés dans la géographie économique évolutionniste (Martin & Simmie, 2008) peuvent consister en un auto-renforcement du système, une poursuite de la trajectoire sur lequel il est engagé ; l'émergence de nouvelles voies de développement ; ou la ramification et la transformation des anciennes voies en de nouvelles. Il est donc essentiel de s'interroger sur les conséquences que les trajectoires de conservation (*path dependence*), d'émergence (*path creation*) ou de diversification (*path renewal*) d'avantages compétitifs, peuvent avoir pour le territoire.

1.3.1 *Path dependence*

Des régions avec des histoires économiques spécifiques évoluent selon des trajectoires différentes. Il a été montré qu'une fois qu'un modèle particulier de développement socio-économique est établi dans une région, il peut devenir cumulatif et caractérisé par un haut degré de persistance ou de « dépendance au sentier », à la trajectoire (*path-dependence*, Martin, 2003 ; Martin & Sunley, 2006 ; Boschma & Frenken, 2006).

Martin et Sunley (2006) définissent la dépendance du chemin comme « *un processus probabiliste et éventuel (dans lequel) à chaque instant du temps, la suite des éventuelles trajectoires évolutives futures (sentiers) d'une technologie, d'une institution, d'une entreprise ou d'une industrie est conditionnée par le passé (dépendance) et les états actuels du système en question. Le passé définit ainsi les possibilités alors que le présent conditionne quelle possibilité est à explorer* ». Un exemple classique de *path-dependence* est la disposition des claviers d'ordinateur qui découle de la disposition des claviers des machines à écrire. Les travaux précurseurs de David (1985) et Arthur (1988) attribuent cette dépendance à l'émergence de processus d'auto-renforcement qui verrouillent une trajectoire de développement technologique plutôt que d'autres.

Les économies des territoires varient considérablement dans leurs compositions industrielles, organisations, institutions, croissance économique et les liens qu'ils tissent avec d'autres territoires. Certains sont très technologiquement spécialisés tandis que d'autres sont très diversifiés, certains sont à la pointe des inventions de technologies tandis que d'autres se contentent de les appliquer. Les types de dépendances à la trajectoire varient donc fortement entre les territoires.

Différentes sources ont été identifiées. David (1985) se réfère à trois sources principales que sont la proximité technologique, les économies d'échelle et l'irréversibilité des investissements. Martin et Sunley (2006) proposent eux pour les territoires sept sources possibles de dépendance à la trajectoire :

- la dépendance aux ressources naturelles : dans ce cas, le développement d'une région dépend de l'accès, de la découverte, de l'épuisement d'une ressource naturelle et des possibilités techniques que cela offre pour les secteurs liés ;
- les coûts irrécupérables des investissements et des infrastructures locales : la pérennité des équipements d'un territoire, particulièrement dans les industries lourdes, et des infrastructures physiques, façonne les possibilités de développement, car les coûts de remplacement sont très élevés ;
- les économies externes locales de la spécialisation industrielle : les districts industriels locaux et les *clusters* d'activités économiques spécialisées caractérisées par des externalités dynamiques de type marshalliennes créent un degré élevé d'interdépendance économique locale et donc d'inertie au changement ;
- le verrouillage technologique régional : le développement d'un système d'innovation régional distinctement spécialisé dans une technologie et qui briderait les innovations dans d'autres domaines ;
- les économies d'agglomération : le développement est contraint par diverses externalités d'agglomération, comme la diversité des compétences des travailleurs, la taille du marché, l'intensité des relations dans les chaînes de valeurs, la présence de fournisseurs ou de services particuliers ;
- les institutions : le développement est circonscrit dans une trajectoire définie par les institutions économiques et de régulation, les habitudes, cultures ou la langue ;
- les liens inter-régionaux : la trajectoire d'un territoire peut être déterminée par celles d'autres régions, à travers les liens technologiques, sociaux ou organisationnels inter-régionaux

En dépit des hauts degrés de stabilité et de continuité des trajectoires de développement économique des territoires, on peut toutefois observer des changements réguliers, résultant

tant de l'entrée de nouveaux acteurs, technologies ou entreprises sur le territoire, ou de la transformation des acteurs existants.

1.3.2 *Path renewal*

Le renouvellement de la trajectoire (path-renewal) fait référence aux changements qui ont lieu à l'intérieur des secteurs industriels existants dans un territoire (Tödtling & Trippel, 2012). De tels changements participent à une mise à niveau et une revitalisation des secteurs industriels existants. Comment ce processus peut avoir lieu ?

Martin et Simmie (2008) ont identifié différentes raisons qui pourraient amener au renouvellement de la trajectoire, comme l'augmentation de la concurrence externe ou l'introduction d'innovations radicales et de nouvelles technologies au sein de l'industrie. En outre, la perte de dynamisme innovant au sein de l'industrie régionale ou la délocalisation d'organisations clés dans d'autres endroits pourrait inciter à la revitalisation des industries régionales existantes. Sans doute, les changements de RIS basés sur le renouvellement du chemin modifient la trajectoire de développement existante d'une région, mais ne modifient pas la structure de l'industrie. Un renouvellement des chemins existants de l'industrie ne conduit pas nécessairement à l'émergence d'un nouveau chemin RIS.

Le renouvellement de la trajectoire des industries existantes comprend différentes formes, allant d'un passage des produits de grande consommation aux produits spécialisés de plus grande valeur, comme cela a été observé dans le pôle métallurgique de Styrie (Tödtling & Trippel, 2004 ; Trippel & Otto, 2009) à l'introduction de nouvelles technologies et pratiques organisationnelles, comme on l'a vu, par exemple, dans le pôle automobile de l'Ontario (Gertler & Wolfe, 2004) ou les machines industrielles à Tampere, en Finlande (Martin & Sunley, 2006). L'importation de nouvelles technologies ou de nouvelles formes d'organisation de l'extérieur de la région peut également participer au renouvellement de la trajectoire. Le succès de ce renouvellement dépendrait cependant de la capacité d'absorption des acteurs locaux (Martin & Sunley, 2006).

Un renouvellement axé sur l'innovation des anciens *clusters* est lié à des changements dans la base de connaissances de la région. Cela pourrait impliquer la création d'organismes de recherche et d'éducation qui soutiennent les entreprises pour introduire de nouvelles technologies et améliorer leurs produits en fournissant des connaissances spécialisées et une main-d'œuvre hautement qualifiée. Le pôle métallique dans la région de Styrie (introduction de techniques laser et de nouveaux matériaux composites) et l'industrie horlogère dans l'Arc du Jura suisse (introduction de la microélectronique dans l'ancienne

industrie horlogère mécanique) démontrent l'importance de rajeunir les anciennes industries en construisant des ponts vers de nouvelles technologies (Maillat *et al.*, 1997 ; Todtling & Trippel, 2004). Dans de tels cas, de nouvelles trajectoires technologiques peuvent être ouvertes aux industries traditionnelles.

Aussi, en plus de stimuler la croissance économique, la diversification technologique basée sur la proximité technologique peut aussi conduire au renouvellement de la trajectoire de développement régional. Des études ont affirmé que la structure industrielle actuelle d'une région affecte ses possibilités d'évolutions futures, car les capacités, compétences et connaissances existantes déterminent quelles nouvelles capacités, compétences et connaissances futures vont être en mesure de se développer (Hausmann & Hidalgo, 2010; Hausmann & Klinger, 2007; Hidalgo *et al.*, 2007). La proximité technologique devient donc décisive dans la réussite des renouvellements basés sur la mise à niveau technologique des anciennes industries.

Les changements dans les trajectoires de développement peuvent cependant être plus radicaux, dans ce cas, on parlera davantage de la création d'une nouvelle trajectoire.

1.3.3 *Path creation*

La forme de changement la plus radicale est provoquée par l'émergence et la croissance des industries basées sur de nouvelles trajectoires technologiques et organisationnelles telles que les industries à haute intensité de connaissances et à haute technologie, ce qui implique un changement majeur dans les trajectoires de développement des régions. Comment ces nouvelles trajectoires émergent-elles ?

On reconnaît de plus en plus que le hasard, les événements aléatoires, les catastrophes ou les accidents historiques ne doivent pas être trop soulignés à cet égard, car de nouveaux sentiers émergent souvent des sentiers régionaux antérieurs et existants (Boschma & Martin, 2007 ; Martin & Sunley, 2006) : « les nouveaux sentiers n'émergent pas du vide, mais toujours dans le contexte des structures et des trajectoires existantes de la technologie, de l'industrie et des arrangements institutionnels » (Martin & Simmie, 2008 : 186). Plus précisément, la création de chemin dans de nouvelles industries nécessite l'existence d'actifs, de ressources ou de compétences disponibles dans la région. Cela pourrait inclure, par exemple, une excellente base scientifique ou la disponibilité d'une main-d'œuvre hautement qualifiée. Le développement d'une nouvelle trajectoire pourrait également résulter d'une forte demande locale.

La création de nouvelles trajectoires peut résulter de la diversification des industries existantes dans des domaines technologiques nouveaux, mais connexes (Boschma & Martin, 2007; Martin & Sunley, 2006). L'émergence de nouvelles industries à haute technologie et à forte intensité de savoir dépend fortement de la création de nouvelles entreprises et de leurs retombées (Frenken & Boschma, 2007). Le développement extrêmement rapide de l'industrie du logiciel en Irlande, par exemple, a été déclenchée par l'attraction de sociétés étrangères (O'malley & O'gorman, 2001) et l'industrie informatique de la région finlandaise de Tampere illustre l'importance des entreprises leaders de premier plan comme Nokia qui a stimulé la création d'une nouvelle trajectoire en agissant comme un client ayant des attentes sophistiquées (O'gorman & Kautonen, 2004). L'industrie de la protection de l'environnement dans la région de la Ruhr est un autre bon exemple dans ce contexte : originaires de l'ancien complexe minier et sidérurgique (Hilbert *et al.*, 2004), les entreprises de ce secteur et de leurs fournisseurs ont été contraintes par des réglementations et d'autres mesures politiques visant à réduire la pollution et la contamination héritées de la longue histoire industrielle polluante de ces activités et ont développé des solutions internes aux problèmes environnementaux. Elles ont réussi à transférer ces compétences situées dans l'ancien *cluster* dans de nouveaux marchés, ce qui a donné lieu à la nouvelle industrie de la protection de l'environnement. Néanmoins, par rapport aux deux autres scénarios de développement abordés ici, la formation de nouvelles entreprises est un élément crucial pour l'émergence de nouvelles industries de haute technologie (Feldman *et al.*, 2005).

La création de nouvelles trajectoires à partir des secteurs industriels existants présuppose une transformation majeure de la base de connaissances régionales. Cela pourrait par exemple être fortement lié à des processus remarquables de renforcement et/ou de changement institutionnel (Tödtling & Trippl, 2012). Créer ou développer une base de connaissances scientifiques pertinentes, créer d'excellents organismes de recherche, améliorer le système d'éducation et de formation et établir des structures de soutien spécialisées (parcs scientifiques, instituts de formation, incubateurs, etc.) sont des facteurs clés qui peuvent contribuer à développer et à maintenir de nouveaux pôles intensifs en connaissances. Souvent, cela entraîne une négligence et des conséquences négatives pour les secteurs existants reflétant l'inconvénient de la « destruction créative » de Schumpeter (1942). Toutefois, dans certaines conditions, en particulier dans le cas de la promotion de domaines et de technologies génériques (TIC, matériaux, sciences de la vie, nanotechnologies), les nouvelles institutions et structures de soutien pourraient bénéficier aux industries anciennes et nouvelles.

1.4 Synthèse

Les proximités – géographique, sociale, cognitive ou technologique, organisationnelle et institutionnelle – facilitent la création de connaissances en réduisant l'incertitude dans la combinaison des connaissances et en résolvant les problèmes de coordination lorsque les agents sont proches selon au moins une forme de proximité. Les proximités non-géographiques permettent la création de connaissances en s'affranchissant des distances bien que les connaissances puissent être tacites. Les approches sur la proximité suggèrent des compromis entre proximités qui maximisent ou optimisent une forme de proximité pouvant compenser les distances géographiques ou les autres formes de proximité.

La distance cognitive peut ainsi trouver un point auquel le potentiel de partage de connaissances est maximisé. C'est ce qui est appelé la variété connexe (*related variety*), concept qui exprime l'idée de relations entre les secteurs industriels par les technologies qu'ils emploient. En ce sens, le partage et le ruissèlement de connaissances interindustrielles devraient être plus important entre les secteurs qui s'appuient sur des connaissances similaires. Cependant, un certain nombre de preuves concordent sur le fait qu'il y a un potentiel d'innovation très important dans la combinaison de bases de connaissances différentes. L'innovation et la construction de nouvelles connaissances requièrent souvent des ensembles de connaissances dissimilaires et/ou complémentaires. La diversité des technologies ou diversité cognitive est alors censée accroître la probabilité que de nouvelles connaissances émergent. Plus les bases de connaissances sont différentes (*unrelated variety*), plus les innovations seront radicales et potentiellement de rupture, permettant un développement à long terme pour les acteurs et les territoires qui les supportent, d'autant qu'avec des secteurs industriels moins reliés, la résilience aux chocs sectoriels est bien meilleure.

Le développement de connaissances nouvelles est vital pour l'innovation, mais le partage, l'échange, l'intégration et la création de connaissances peut être difficile. La création de connaissances dépend également de la capacité de coordonner l'échange de bases de connaissances complémentaires à l'intérieur d'une organisation (par exemple une entreprise) et entre organisations. La proximité organisationnelle se réfère donc à la difficulté de coordonner des transactions et échanges d'informations entre et dans les organisations. Une grande distance organisationnelle signifie des acteurs indépendants entre lesquels il n'y a aucuns liens ni possibilités d'apprentissage et échanges de connaissances. Si la proximité organisationnelle est grande, comme dans le cas d'une firme organisée hiérarchiquement, il y a des liens forts entre les acteurs qui leur permettent d'échanger des connaissances relativement facilement. Trop de proximité organisationnelle est cependant

accompagnée par un manque de flexibilité et affaiblit les possibilités de d'innovations plus radicales. Il y a donc un risque de verrouillage, d'enfermement (*lock-in*) dans certaines organisations. Des liens trop forts peuvent limiter l'accès à des bases de connaissances plus diverses et la recherche de nouveautés requiert souvent d'aller chercher des sources de connaissances au-delà des relations établies.

La capacité d'un acteur à innover peut aussi demander de la proximité sociale. Celle-ci est censée faciliter l'échange de connaissances tacites, notamment grâce à la confiance entre les interlocuteurs. Un manque de confiance peut empêcher les parties de d'échanger pleinement des connaissances. À l'inverse, une trop grande proximité sociale peut affaiblir la capacité d'innovation. Des relations de long-terme ou trop étroites peuvent endiguer la créativité des acteurs dans des voies établies, freinant leur capacité créatrice et d'apprentissage. La proximité sociale concerne les relations au niveau micro, tandis que la proximité institutionnelle concerne les relations sociales aux niveaux meso ou macro. La façon dont les organisations partagent et créent des connaissances dépend de leur culture institutionnelle. La proximité institutionnelle se réfère alors à des habitudes, réglementations et normes culturelles qui influencent la portée et la façon dont les acteurs coordonnent leurs actions. Aussi, cette proximité affecte le transfert de connaissances et l'apprentissage interactif. Une proximité institutionnelle trop grande, avec des acteurs puissants et des liens forts peuvent réagir d'une façon conservatrice aux changements et freiner l'innovation tandis qu'une trop grande distance institutionnelle peut freiner l'échange de connaissances par le manque de valeurs communes.

La distance géographique se réfère à la distance spatiale ou physique entre les acteurs. Les faibles distances rassemblent les acteurs, elles facilitent les interactions en face à face et par conséquent le transfert de connaissances et l'innovation grâce au « buzz local ». Ces interactions étant plus denses au niveau local, les échanges de connaissances sont plus efficaces et rapides et donc les *clusters* géographiques offrent plus d'opportunités d'innovation que les sites dispersés. En s'agglomérant dans les villes, ces différents *clusters* sont générateurs d'effets multiplicateurs par l'appariement, le partage et l'apprentissage, ce qui au final décuple l'échange et la création de nouvelles connaissances. Cependant ces distances sont relatives aux moyens de transport ou à la perception de la distance par les acteurs. Avec les nouvelles technologies de circulation des informations et des personnes, on doit donc également considérer les espaces relationnels, leurs structures et les positions des acteurs comme pouvant avoir une incidence sur l'innovation.

Dans un second temps, nous avons vu que les différentes dimensions de proximité agissent également dans une logique réticulaire. C'est alors la structure des réseaux et la position des acteurs au sein des systèmes à différentes échelles qui peuvent être bénéfiques. La

base technologique d'une région semble influencer sur les possibilités de diversification de celle-ci. Les acteurs semblent généralement recourir à une diversification des technologies qu'ils emploient en fonction de la distance sur le réseau technologique de ces activités. En raison du besoin d'innovation des entreprises, il apparaît alors que celles-ci ont besoin d'avoir des relations entre leur base de connaissances et la base de connaissances de la région afin d'avoir aisément la possibilité de recombinaison des technologies. Ceci expliquerait que les activités dont les technologies sont peu liées au stock de connaissances régionales auraient davantage de difficultés à se maintenir à long terme dans la région.

Cependant, dans certains cas, les technologies ne se développent pas à partir d'autres technologies locales. Certains liens semblent alors se créer de façon inattendue. Dans un espace technologique fait d'un certain nombre de *clusters* technologiques, des liens se forment entre ces *clusters*. Ceci renvoie aux liens faibles et trous structurels : ces liens faibles entre *clusters* permettant le comblement des trous structurels sont aussi censés être les plus avantageux pour un acteur ou une entreprise. On entre en effet dans le cas d'une innovation dont les bases technologiques ne sont pas nécessairement proches, un cas d'*unrelated variety*, qui est supposé produire des technologies de rupture. Ces phénomènes sont cependant l'apanage de certains acteurs. Les acteurs n'étant pas égaux par la base de connaissances qu'ils possèdent, certains sont donc plus à même de tenter le pontage des trous structurels de l'espace technologique. Généralement, ces acteurs occupent une position intermédiaire dans le réseau local, mais aussi dans le réseau global. Ils captent et établissent des ponts avec des connaissances éloignées ou non disponibles dans la région et diffusent ces nouvelles connaissances localement. Ces *gatekeepers* comme on les appelle, sont donc décisifs dans les systèmes d'innovation locaux et en connaissance de cause, de nombreux acteurs viennent s'attacher à eux.

En effet, les villes, notamment celles qui ne briguent pas les places les plus importantes dans la hiérarchie du système urbain mondial, ne possèdent pas l'entièreté des connaissances disponibles. Un modèle de *buzz local* et de *pipelines globaux* est généralement admis pour illustrer les transferts de connaissances aux différentes échelles. Ces pipelines peuvent résulter de la captation de connaissances codifiées par des acteurs ayant la capacité d'absorption nécessaire à leur compréhension et leur utilisation, mais également des liens organisationnels entre villes, tissés par les entreprises ou institutions multilocalisées. Dès lors, un territoire se retrouve relié au monde et occupe une certaine position dans les flux de connaissances mondiaux, la position la plus centrale possible permettant un accès théorique bien plus important aux stocks et à la diversité des connaissances et technologies.

En dernier lieu, l'histoire du système d'innovation importe. En effet, des facteurs endogènes et exogènes déterminent les trajectoires du système d'innovation, et sa capacité à poursuivre et amplifier les liens existants (*path dependence*), si les acteurs peuvent renouveler les technologies existantes (*path renewal*) ou créer des nouvelles spécialisations (*path creation*). Dans certains cas, se présente un processus dans lequel à chaque instant du temps, la suite des éventuelles trajectoires évolutives futures d'une technologie ou d'une entreprise est dépendante, conditionnée par le passé et les états actuels du système d'innovation en question. Répété, ce phénomène conduit à l'émergence d'un processus d'auto-renforcement qui conduit à une trajectoire de développement technologique plutôt qu'à d'autres. Avec une spécialisation trop forte, une interdépendance trop forte des acteurs, une trop faible ouverture au monde ou une politique publique mal orientée, cet auto-renforcement peut empêcher le système d'évoluer.

Malgré la grande stabilité des trajectoires de développement économique des territoires, on peut toutefois observer des changements réguliers, résultant de l'entrée ou de la transformation de nouveaux acteurs, technologies ou entreprises sur le territoire. Dans un cas de transformation, on parlera plus volontiers de *path renewal*, un renouvellement de trajectoire qui peut avoir différentes origines. L'augmentation de la concurrence externe, l'introduction d'innovations radicales et de nouvelles technologies au sein d'un secteur industriel, mais aussi la perte de dynamisme innovant au sein d'un secteur ou la délocalisation d'organisations clés dans d'autres endroits pourraient inciter à la revitalisation des industries régionales existantes. Dans ces cas de renouvellement, deux facteurs paraissent prépondérants : la capacité d'absorption de nouvelles connaissances et la proximité technologique.

Toutefois, certains changements de trajectoires peuvent être plus radicaux. Si les changements n'interviennent pas au hasard, il peut cependant arriver de temps à autres que de nouvelles trajectoires émergent pour le système d'innovation. Ces phénomènes assez rares peuvent être expliqués par une liaison extrêmement productive entre deux bases de connaissances qui crée un véritable émolument autour de ce nouveau secteur ou alors par la volonté politique précise de développer un secteur industriel particulier. Pour que ce dernier cas réussisse, des acteurs locaux doivent être capables de se transformer profondément en intégrant de nouvelles bases de connaissances, ou alors il faut créer les conditions optimales pour qu'un ancrage de nouveaux acteurs soit possible, avec des règlements, des formations pour la main d'œuvre et des structures de soutien spécialisées.

Au final, nous retirons de cette revue de la littérature sur les conditions de succès des systèmes d'innovations plusieurs éléments. Tout d'abord, dans toutes les dimensions des proximités que nous avons observées apparaît le besoin d'atteindre un optimum de dis-

tance offrant à la fois les avantages des proximités tout en gardant de la flexibilité. Ensuite, les systèmes d'innovations reposent sur des positions d'acteurs dont la centralité permet une diffusion efficace des connaissances et de technologies dont les positions proches offrent une voie privilégiée de diversification et les positions éloignées une voie de diversification plus à même de déboucher sur des innovations radicales. Enfin, l'évolution des trajectoires d'un système d'innovation paraît être intimement lié aux évolutions respectives des proximités et des positions. Un renforcement des proximités et une centralisation des acteurs et des technologies peut conduire à un enfermement du système, à une dynamique de verrouillage. Le fait que les positions des acteurs et technologies évoluent évoque en revanche une dynamique favorable pouvant conduire au renouvellement des trajectoires et à la pérennité économique du territoire.

2

Les réseaux de connaissances au prisme de la proximité

Malgré le nombre croissant d'études régionales mettant en œuvre des techniques d'analyse des réseaux sociaux autour de la création et de la diffusion des connaissances, les développements potentiels et fructueux de la théorie des réseaux sont loin d'avoir été achevés. Des défis théoriques, empiriques et technologiques demeurent en géographie économique dans les domaines des réseaux et systèmes d'innovation.

2.1 Des *clusters*, des réseaux et des trajectoires

Les proximités multiples, les réseaux et les trajectoires sont des aspects qui constituent la base de toute approche de ces systèmes territorialisés d'innovation.

2.1.1 Proximités

Dans la théorie de la géographie économique, différents courants tentent d'expliquer la création localisée de connaissances, mais demeurent partiellement lacunaires. Tout d'abord, les connaissances pourraient être générées par les externalités de l'agglomération des entreprises. Le problème est que cette approche ne permet pas d'expliquer la construction dynamique de connaissances dépassant le niveau de l'entreprise ni les processus spécifiques au travail et à l'interaction des individus. Deuxièmement, la création de connaissances pourrait être le fait de l'agglomération de talents individuels. Cette approche reste trop statique et ne tient pas compte des processus sous-jacents de création de connaissances, ne précisant pas vraiment comment ces talents interagissent. Troisièmement, les théories des entreprises multinationales, tout en visant à comprendre le couplage des connaissances locales et mondiales, mettent l'accent sur les flux de connaissances par

des liens de subsidiarité ou de chaîne de valeur et des pipelines internes, tout en négligeant les processus de création de connaissances et les externalités qui dérivent des interactions entre différents types de contextes formels et informels d'acteurs individuels et collectifs.

Pour aller au-delà de ces lacunes, il faut reconsidérer le rôle de la proximité dans la formation des savoirs locaux. Cette proximité peut être lue comme une distance entre deux points, deux acteurs, deux entreprises ou technologies. Il semble d'abord y avoir une acceptation générale selon laquelle les processus d'apprentissage, la création et la diffusion de la connaissance et l'innovation sont souvent localisés dans les régions métropolitaines et leurs *clusters* et qu'une proximité géographique est très bénéfique pour les régions et les *clusters* concernés. Ce qui est moins connu, cependant, est la nature précise des mécanismes et des conditions qui sous-tendent ces processus. En effet, il existe d'autres proximités qui sont à l'œuvre « derrière » la proximité géographique : on parle ici des proximités technologiques, sociales et organisationnelles.

Si plusieurs études montrent comment les proximités de différentes sortes agissent sur l'emploi ou la production d'innovations, l'interaction entre ces différentes proximités est encore mal comprise et demeure à élucider. Aussi, en considérant les proximités comme des réseaux, et donc comme des objets formels susceptibles d'être analysés par le moyen de méthodes quantitatives, il sera possible d'évaluer ces interactions.

2.1.2 Structure des réseaux

L'approche des proximités par les réseaux permet d'aborder les formes des structures réticulaires. On considère alors que les positions des acteurs observées, à la fois relativement à leurs voisins, mais aussi dans le réseau pris dans son ensemble, sont des caractéristiques essentielles pour comprendre le système général de la création innovatrice.

Les théories des réseaux d'entreprises et des réseaux d'innovation suggèrent qu'il est peu probable qu'un réseau unique englobe tous les acteurs de manière connexe : les entreprises, les individus, les technologies ou encore les lieux d'un *cluster* ou d'une région. Les positions sont inégales entre les agents ce qui entraîne une concurrence pour « les meilleures places ». Une répartition inégale de la centralité des nœuds dans le réseau est donc observée, qu'ils s'agissent de technologies, d'entreprises, d'individus ou de municipalités. Une question demeure toutefois en suspens, celle de savoir comment peuvent être caractérisés ces nœuds centraux. Dans les réseaux organisationnels et sociaux, observe-t-on des *gatekeepers* comme des institutions publiques comme cela a été

mentionné quelques fois dans la littérature ? Au niveau technologique, peut-on expliquer la centralité d'une technologie par sa propension à participer à de la *related variety* ?

2.1.3 *Path dependence*

Les réseaux de proximité, ayant une structure et des positions de nœuds définies, évoluent cependant avec le temps. En effet, on a des facteurs endogènes et exogènes qui déterminent les trajectoires du système d'innovation. Si le système poursuit et amplifie les liens existants c'est in fine, ce que l'on peut appeler de la *path dependence*. C'est un processus dans lequel, à chaque instant du temps, la suite des éventuelles trajectoires évolutives futures d'une technologie ou d'une entreprise est dépendante, conditionnée par le passé et les états actuels du système d'innovation en question. Répété, ce phénomène conduit à l'émergence d'un processus d'auto-renforcement qui peut orienter vers une trajectoire de développement technologique plutôt que vers d'autres. Nonobstant la grande stabilité des trajectoires de développement économique des territoires, on peut toutefois observer des variations régulières, fruits de l'entrée ou de la transformation de nouveaux acteurs, technologies ou entreprises sur le territoire. On parlera alors de *path renewal*, un renouvellement de la trajectoire.

Pris sous l'angle de la théorie des réseaux, on peut ainsi considérer ces évolutions de trajectoires comme autant d'évolutions des structures des réseaux de proximité. La *path dependence* implique la redondance des liens entre les nœuds et l'acquisition d'une centralité marquée de certains nœuds. Le renouvellement de la trajectoire présente quant à lui la création de nouveaux liens, la connexion d'entités non reliées auparavant.

En mobilisant l'approche de la géographie économique évolutionniste, qui justement s'intéresse à la façon dont l'histoire importe dans la constitution des systèmes présents, conjuguée à celle de l'évolution des réseaux, on parvient alors à montrer comment les structures présentes de nos réseaux de proximité et, plus généralement, l'état présent d'un système sont façonnés par les évolutions passées. Cela nous permettra alors de clarifier comment émergent des spécialisations locales à travers l'étude des évolutions respectives des réseaux de proximité.

2.2 Objectifs et questions de recherche

La présente étude est positionnée à l'interface des relations de proximité formant les *clusters*, des réseaux de connaissances et des trajectoires qu'ils forment, afin de mieux comprendre les déterminants de la formation de ces réseaux et leurs évolutions. Dans cette optique, une attention particulière est consacrée aux différentes proximités de la formation du réseau en s'interrogeant principalement sur :

Quels sont les facteurs déterminants de la formation et de l'évolution des réseaux de connaissances locaux et du développement des spécialisations locales ?

Reprenant les observations faites précédemment, cette question principale peut être scindée en deux questions spécifiques :

- À quoi ressemble la structure des réseaux de connaissances spécialisées et quels sont les facteurs de proximité explicatifs de ces structures ?
- Comment ces réseaux évoluent-ils au cours du temps et quels sont les facteurs explicatifs de ces évolutions ?

2.3 Hypothèses de recherche

Le premier ensemble de questions concerne la structure des interactions dans le réseau de connaissances. *À quoi ressemblent-elles, et en quoi sont-elles dépendantes des proximités ?*

Les agents proches pouvant tirer profit de l'accès aux connaissances facilité grâce aux proximités géographique, sociale, technologique ou organisationnelle, on suppose en conséquence que les réseaux de connaissances, par lesquels les organisations et les individus interagissent et collaborent, montrent un grand chevauchement avec les proximités sous-jacentes. En d'autres termes, on suppose que les proximités et les réseaux coïncident. On fait donc l'hypothèse que les entreprises proches ont un avantage concurrentiel par rapport aux entreprises éloignées, car elles ont un accès exclusif aux connaissances qui circulent dans ce réseau de proximité et, par conséquent, inaccessibles aux entreprises en dehors des *clusters*. En conséquence, la performance des entreprises est principalement attribuée à leur emplacement à l'intérieur ou à l'extérieur des réseaux de proximité.

On peut revenir ici à des formulations conceptuelles de ces différentes proximités :

- En premier lieu, nous nous intéressons à la proximité technologique. On a fait appel dans la revue de la littérature à la notion de « livre de codes », cet outil qui permet aux agents d'une communauté qui partagent un cadre commun de connaissances de communiquer, de partager et d'innover. La proximité technologique, c'est alors la mesure des distances entre ces « livres de codes ».
- Deuxièmement, la proximité sociale, dans un système d'innovation, est définie à partir des relations qu'entretiennent les individus de ce système, à savoir les inventeurs/innovateurs. La proximité sociale peut être pensée comme l'intensité avec laquelle deux individus se connaissent. Celle-ci peut être influencée par divers facteurs évidents tels que la formation, l'habitat ou le travail. La proximité sociale participe au système d'innovation en réduisant le coût de l'échange de connaissances. Il est plus facile de communiquer avec quelqu'un avec qui on a des liens forts que faibles.
- En troisième lieu, la proximité organisationnelle peut se représenter comme l'appartenance à une même organisation, entreprise ou institution. Elle se réfère à la mesure dans laquelle les relations sont partagées dans la même hiérarchie organisationnelle. Autrement dit, la proximité organisationnelle facilite l'échange de connaissances et l'apprentissage entre les individus dans la même organisation (par exemple, une entreprise ou une institution) et parmi les différentes sociétés d'un même groupe ou une entreprise multi-localisée. La proximité organisationnelle reflète les liens intra-entreprises basés sur la propriété qui existent entre le siège et les filiales à toutes les échelles géographiques, et est liée au degré d'autonomie des acteurs et au contrôle dans les relations du réseau d'entreprises.
- La proximité géographique doit être comprise comme la distance spatiale ou physique entre les acteurs économiques, qui leur permet de partager ou non des connaissances et de se rencontrer ou non en face à face.

De ces différentes proximités émergent des conséquences sensibles sur les structures des réseaux de connaissances. Si les proximités géographiques et sociales jouent un rôle déterminant pour l'échange local de connaissances, les proximités organisationnelles et technologiques interviennent elles majoritairement dans les échanges à longue distance, mais également dans des échanges de courte portée géographique puisque les lieux combinent à des degrés divers les différentes proximités.

Notre première hypothèse est donc la suivante :

Hypothèse 1 : *Les proximités géographique, sociale, organisationnelle et technologique se combinent pour déterminer de la structure des réseaux de connaissances.*

2. Les réseaux de connaissances au prisme de la proximité

Un second ensemble de questions se rapporte à la façon dont ces réseaux de connaissances évoluent dans le temps, et comment ces évolutions sont liées à l'évolution des proximités.

On a défini les proximités par des réseaux. Ces réseaux évoluent cependant avec le temps, aussi l'évolution des proximités peut se comprendre comme la dynamique des liens des réseaux qui en modifient les structures au cours du temps. Il s'agit alors d'examiner si tel type de proximité expliquant la collaboration d'agents change au fil du temps. On peut supposer que les évolutions de l'importance des liens locaux par rapport aux liens globaux et des autres proximités sont déterminantes dans l'explication de l'évolution des réseaux de connaissances. Glückler (2007) suggère que l'évolution des réseaux dans une région serait le résultat de forces créant et inversement brisant les trajectoires. Selon lui, tandis que d'un côté, les forces créatrices de trajectoire conduisent à la formation de composantes denses du réseau en réponse à la dynamique de redondance des liens existants (*path dependence*), qui peuvent amener au « verrouillage technologique », d'un autre côté, les forces destructrices de trajectoires permettent au système d'évoluer de façon vertueuse en rattachant des composantes éloignées des réseaux de connaissances, c'est-à-dire en créant des ponts s'appuyant sur des liens faibles.

La proximité reste le moteur de la formation de nouveaux liens, mais la question peut aussi s'inverser et l'on peut s'interroger sur la manière dont la création de nouveaux liens affecte les proximités. Dans cet esprit, Padgett et Powell (2012 : 3) affirment d'ailleurs « qu'à court terme, les acteurs créent les relations et qu'à long terme, les relations créent les acteurs ». Les évolutions des proximités ne sont donc pas seulement le fait d'influences externes, mais également et inversement un résultat de la participation à des réseaux de connaissances. La coévolution des liens de proximité et des réseaux de connaissances découle du fait que des acteurs en interaction ont également tendance à devenir plus similaires avec le temps. Aussi, reprenant cette idée de Padgett et Powell, on discute ici que, à court terme, la proximité crée des réseaux de connaissances, et à long terme, les réseaux de connaissances créent de la proximité.

Hypothèse 2 : L'évolution des proximités est, à court terme, un facteur déterminant dans l'évolution des réseaux de connaissances.

Nous espérons que l'utilisation d'une approche par les réseaux sociaux nous permettra de répondre à ces questions. La prochaine partie traite des conditions et de la mise en œuvre conceptuelle des analyses.

2.4 Mise en oeuvre conceptuelle

Dans le cadre de l'Aire Métropolitaine Lyonnaise, l'histoire économique nous incite à penser que la connexité technologique est déterminante dans l'évolution du système d'innovation. En effet, Lyon est au XVe siècle un haut lieu de foires libres de taxes où s'y vendent entre autres choses, de nombreuses soieries italiennes. En 1540, un monopole royal est accordé à la ville sur l'importation de la soie ce qui va provoquer l'essor de toute l'industrie du tissu. Ce n'est toutefois pas avant les années 1720 que l'industrie devient prépondérante en Europe, notamment grâce à des systèmes institutionnalisés de rétribution des inventeurs, ce qui encourage les inventions, ainsi qu'une aide à l'adoption des innovations. C'est dans ce contexte que Jacquard a mis au point son métier à tisser en 1801. Le développement de ce secteur économique en a cependant attiré plusieurs autres. La soie et sa teinture demandent par exemple la maîtrise de nombreux produits chimiques. La ville devient donc un terreau fertile pour les entreprises chimiques qui a leur tour essaient dans des domaines reliés. En 1883 a lieu l'inauguration de l'École de Chimie Industrielle de Lyon qui accueille entre autres Marcel Mérieux dont le groupe est à l'origine d'une grande part de la biotechnologie lyonnaise et Louis Lumière, co-inventeur du cinématographe.

On le voit par cet exemple, les proximités technologiques – de la soierie à la chimie puis aux biotechnologies et au cinéma – expliquent sur le temps long une partie des spécialisations et des structures économiques locales. Aussi, les structures sociales, organisationnelles, les distances géographiques et les proximités technologiques contemporaines pourraient également contribuer à l'arrangement particulier des réseaux de connaissances dans la région.

La proximité des entreprises, par les alliances qu'elles forment dans le but de combiner utilement leurs bases de connaissances – la proximité organisationnelle –, doit alors pouvoir être définie selon des critères tangibles. On regardera par exemple l'action de co-brevetage, qui implique un partage direct de connaissances entre entreprises, et la mobilité professionnelle des inventeurs qui renvoient à un partage indirect avec le passage d'un inventeur ayant acquis des connaissances dans une entreprise ou une organisation vers une autre qui profite alors des connaissances de cet inventeur.

La proximité sociale s'étalonne au niveau des individus, c'est-à-dire pour notre affaire aux inventeurs. Deux inventeurs qui collaborent c'est une interaction sociale forte, doublée d'un important partage de connaissances. Ces inventeurs ont chacun des caractéristiques, employeur ou localisation, qu'il est possible de mobiliser afin de préciser ce qui tisse ces

2. Les réseaux de connaissances au prisme de la proximité

liens sociaux. Par ailleurs, les réseaux sociaux ont pour habitude de faire ressortir des structures de domination et cela guidera par conséquent une partie de notre travail.

La proximité technologique dérivée des brevets comporte elle encore de nombreux points d'achoppement. Aussi une étude attentive des critères choisis pour cette proximité technologique devra être réalisée. Ainsi, les structures dégagées devront permettre la mise en valeur des technologies et spécialisations locales, mais également des combinaisons de connaissances réalisées, à savoir si elles répondent au critère de *related variety*.

La proximité géographique devra quant à elle mettre en lumière les rapports qu'il peut exister entre les territoires de l'aire métropolitaine lyonnaise et les concentrations de l'activité innovatrice.

L'examen des structures de ces proximités nous renseignera alors sur les processus de fabrication des réseaux de connaissances à travers les différentes dimensions observées. Par ailleurs, la dynamique de ces réseaux modélisés peut également être retracée. On regardera donc l'évolution des réseaux de proximité en cherchant à comprendre tout d'abord si les influences relatives et les caractéristiques de celles-ci sont constantes au cours du temps, si, par exemple, la dimension géographique compte moins au fil du temps ou si les acteurs publics ont tendance à s'effacer des réseaux de connaissances.

Les concepts ainsi décrits dans la revue de la littérature devraient permettre par cette mise en œuvre une analyse approfondie des réseaux de connaissances modélisés selon les différents types de proximité évoqués précédemment.

3

Choix du territoire d'étude et présentation des données

Dans le cadre de l'Aire Métropolitaine Lyonnaise, l'histoire économique nous incite à penser que la connexité technologique est déterminante dans l'évolution du système d'innovation.

3.1 Mise en œuvre opérationnelle sur un territoire : les spécialisations lyonnaises

Lyon est au XVe siècle un haut lieu de foires libres de taxes où s'y vendent entre autres choses, de nombreuses soieries italiennes. En 1540, un monopole royal accordé à la ville sur l'importation de la soie, va provoquer l'essor de toute l'industrie du tissu. Ce n'est toutefois pas avant les années 1720 que l'industrie lyonnaise devient prépondérante en Europe, notamment grâce à des systèmes institutionnalisés de rétribution des inventeurs, ce qui encourage les inventions, ainsi qu'une aide à l'adoption des innovations. C'est dans ce contexte lyonnais que Jacquard a mis au point son métier à tisser en 1801. Le développement du tissage a soutenu d'autres secteurs économiques. La soie et sa teinture demandent par exemple la maîtrise de nombreux produits chimiques. La ville devient donc un terreau fertile pour les entreprises chimiques, qui a leur tour essaient dans des domaines reliés. En 1883 a lieu l'inauguration de l'École de Chimie Industrielle de Lyon qui accueille, parmi d'autres, Marcel Mérieux dont le groupe est à l'origine d'une grande part de la biotechnologie lyonnaise et Louis Lumière, co-inventeur du cinématographe.

Ainsi Lyon est un magnifique exemple historique des proximités technologiques – de la soierie à la chimie puis aux biotechnologies et au cinéma – qui expliquent sur le temps long une partie des spécialisations et des structures économiques que l'on retrouve encore aujourd'hui. Aussi, les structures sociales, organisationnelles, les distances géographiques et les proximités technologiques contemporaines pourraient également contribuer à l'arrangement particulier des réseaux de connaissances dans la région.

La proximité des entreprises, par les alliances qu'elles forment dans le but de combiner utilement leurs bases de connaissances – la proximité organisationnelle –, doit alors pouvoir être définie selon des critères tangibles. On regardera par exemple l'action de co-brevetage, qui implique un partage direct de connaissances entre entreprises, et la mobilité professionnelle des inventeurs qui renvoient à un partage indirect avec le passage d'un inventeur ayant acquis des connaissances dans une entreprise ou une organisation vers une autre qui profite alors des connaissances de cet inventeur.

La proximité sociale s'étalonne au niveau des individus, c'est-à-dire aux inventeurs. Deux inventeurs qui collaborent représente une interaction sociale forte, doublée d'un important partage de connaissances. Ces inventeurs ont chacun des caractéristiques, employeur ou localisation, qu'il est possible de mobiliser afin d'évaluer collectivement les principaux facteurs qui favorisent ces liens sociaux. Par ailleurs, les réseaux sociaux ont pour habitude de faire ressortir des structures de domination et cela guidera par conséquent une partie de notre travail.

La proximité technologique dérivée des brevets comporte, elle encore, de nombreux points d'achoppement. Aussi une étude attentive des critères choisis pour cette proximité technologique devra être réalisée. Ainsi, les structures dégagées devront permettre la mise en valeur des technologies et spécialisations locales, mais également des combinaisons de connaissances réalisées, à savoir si elles répondent au critère de *related variety*.

La proximité géographique devra quant à elle mettre en lumière les rapports qu'il peut exister entre les territoires de l'aire métropolitaine lyonnaise et les concentrations de l'activité innovatrice.

L'examen des structures de ces proximités nous renseignera alors sur les dimensions qui favorisent des réseaux de connaissances. Par ailleurs, la dynamique de ces réseaux modélisés peut également être retracée. On regardera donc l'évolution des réseaux de proximité en cherchant à comprendre tout d'abord si les influences relatives et les caractéristiques de celles-ci sont constantes au cours du temps, si, par exemple, la dimension géographique

compte moins au fil du temps ou si les acteurs publics ont tendance à s'effacer des réseaux de connaissances.

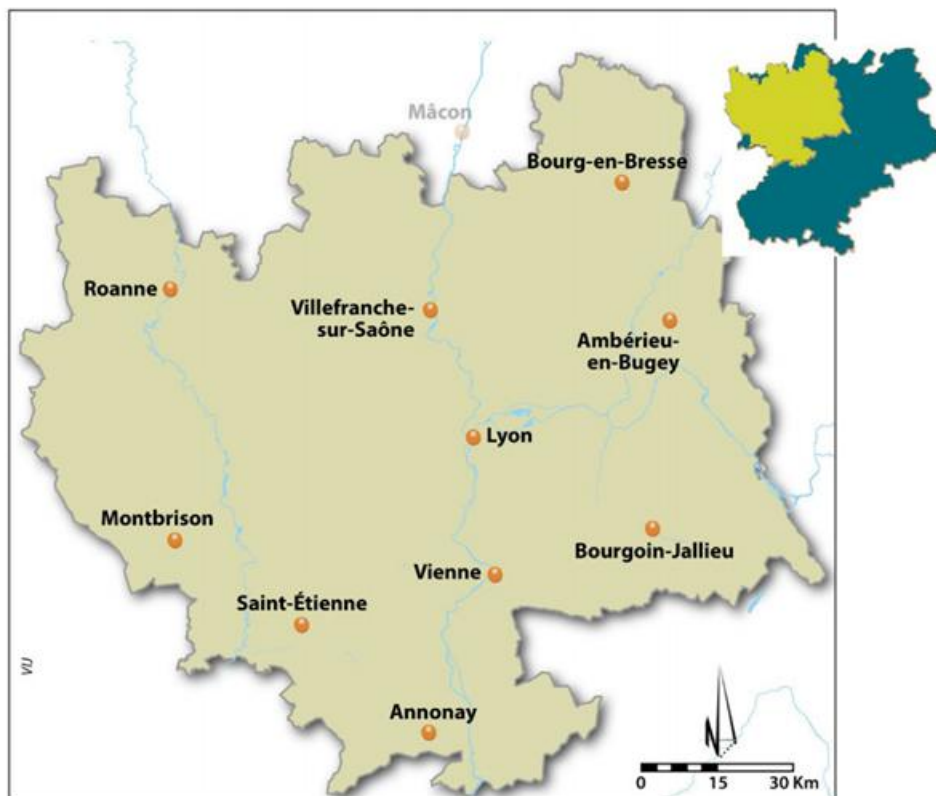
3.2 Définition de l'espace d'étude : l'aire métropolitaine lyonnaise

À l'aune de l'histoire industrielle évoquée précédemment, particulièrement éclairante des mécanismes d'innovation, Lyon paraît être un territoire de choix intéressant pour mener ce type d'études. Or, la problématique qui préside à tout travail sur les villes et l'urbain est la délimitation du territoire d'étude. La commune n'étant pas pertinente pour ce type de travail quantitatif et spatial, il a ainsi fallu recourir à des aires plus importantes, correspondant davantage à des territoires fonctionnels qu'institutionnels.

Le choix a été fait ici d'utiliser une délimitation utilisée par les agences d'urbanisme de Lyon et de Saint-Etienne, qui sont rassemblées depuis 2010 sous la même bannière d'UrbaLyon, diminutif de l'agence d'Urbanisme de l'aire métropolitaine Lyonnaise. Cette aire métropolitaine correspond au territoire sur lequel s'exerce l'influence de Lyon (UrbaLyon, 2015). L'aire rassemble 1 047 communes et réunit plus de 3,3 millions d'habitants. Son emprise s'exerce sur tout ou partie de six départements : le Rhône, la Loire, l'Ain, l'Isère, l'Ardèche et la Drôme et intègre, ainsi, les agglomérations de Lyon, de Villefranche-sur-Saône, de Saint-Etienne, de Roanne, de Bourg-en-Bresse, de Bourgoin-Jallieu, de Vienne ou encore d'Annonay (Fig.3.1).

Malgré que cette aire métropolitaine soit récente, nous utiliserons sa délimitation pour remonter dans le passé jusqu'en 1978, date à laquelle les données de brevets sont disponibles. Ainsi nous travaillerons à territoire constant, permettant de maintenir une cohérence historique dans les spécialisations des territoires, même si les influences régionales étaient peut-être moins fortes et le territoire politique n'existait pas en tant que tel.

FIGURE 3.1 – Territoire d'étude : l'aire métropolitaine lyonnaise (UrbaLyon, 2015).



3.3 Sources et nettoyage des données

Afin d'obtenir la possibilité de telles analyses sur ce territoire de l'aire métropolitaine lyonnaise, cette étude a bénéficié des bases de données (publiques) produites par l'Office européen des Brevets, organisées et mises à disposition par l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE). Cette base répertorie tous les brevets déposés dans tous les pays européens ainsi que leurs attributs : inventeurs, propriétaires du brevet (appelé communément et par la suite *applicant*), année, technologie, adresses des inventeurs et des *applicants*. À cet effet, l'OCDE produit la base de données REGPAT, gratuite et en libre accès, qui répertorie ces informations sur les brevets inscrits à l'Office européen des Brevets depuis 1978 dans la base PATSTAT.

L'OCDE propose une délimitation géographique au niveau statistique européen NUTS 3, qui correspond au niveau des départements français. L'aire d'étude ne correspondant pas à cette délimitation, mais s'étendant sur une partie de six départements, un premier travail a donc consisté à aller plus loin que la classification proposée. Après restriction de la base de données aux brevets dont un inventeur est localisé dans un des six départements, une

nouvelle restriction des données est appliquée aux brevets dont l'adresse de résidence des inventeurs se situe au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise. Il a ainsi fallu attribuer selon une méthode semi-automatique chaque adresse donnée à une commune, en corrigeant les erreurs de code postal. De cette façon, les données produites correspondent davantage au territoire fonctionnel de la métropole lyonnaise où les déplacements domicile-travail sont nombreux.

Une fois ces données réunies, plusieurs informations peuvent y être greffées à l'aide d'autres bases de données de l'OCDE. Premièrement, les citations qu'un brevet a reçues et a faites. Se basant sur le code d'application unique de chaque brevet, il est alors possible de retrouver les autres brevets avec lesquels ce brevet est en lien par citation. Deuxièmement, la catégorie technologique peut également y être apposée grâce à un fichier de correspondance également proposé par l'OCDE et qui, pour chaque brevet, renvoie les codes de la Classification Internationale des Brevets (*International Patent Classification*, IPC par la suite). Ainsi, chaque brevet de l'aire métropolitaine lyonnaise a été qualifié par les codes IPC de ses spécialisations technologiques.

Cette base de données ainsi obtenue a ensuite été entièrement vérifiée afin que certaines valeurs et analyses ne soient pas faussées. En effet, lors de la construction de la base de données par l'OCDE, les procédures d'attribution sont automatisées et peu intelligentes. Ainsi, si un même inventeur présente son nom écrit sous deux formes différentes, par exemple « Prénom Nom » et « Nom Prénom », il apparaîtra sous deux identifiants différents. De même pour une entreprise qui écrira « Nom » ou « Nom SA » ou « Nom S.A. ». Un long travail de « lissage » des noms et identifiants s'est donc avéré nécessaire pour la bonne marche de l'étude. En regroupant sous les mêmes identifiants les personnes ou entreprises dont les noms et adresses ne permettaient de douter de leurs identités, on est ainsi parvenu à un résultat satisfaisant.

3.4 Mesures générales

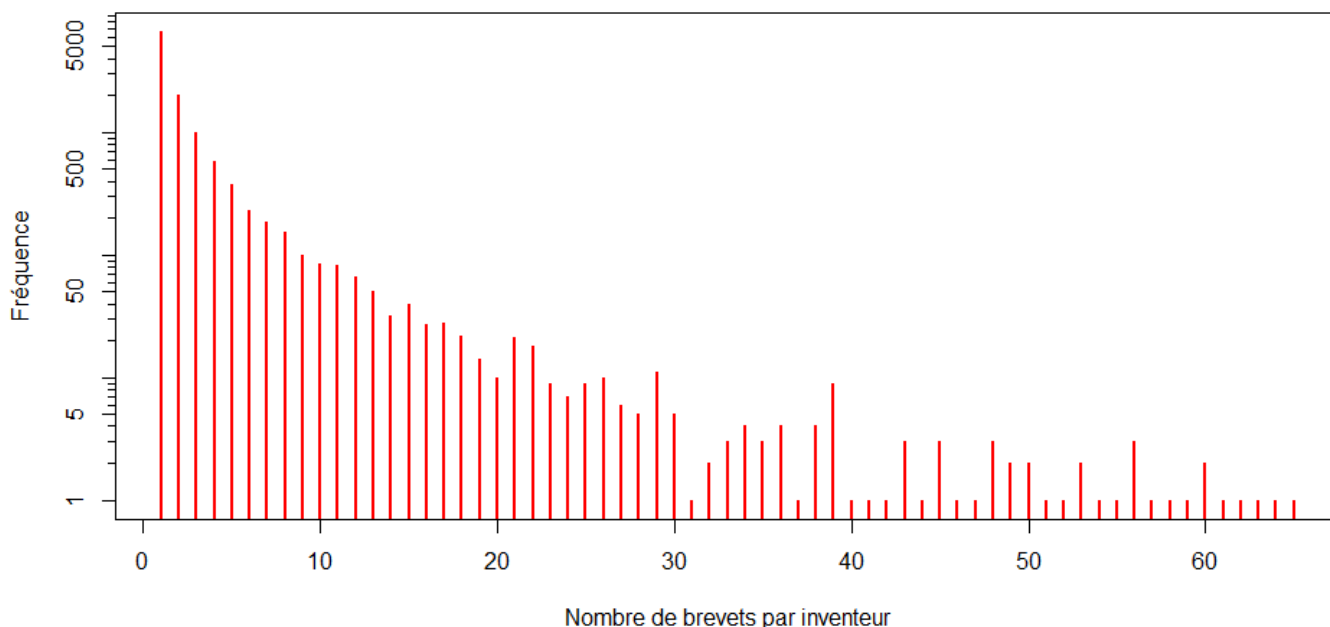
La base de données ainsi créée pour l'Aire métropolitaine lyonnaise remonte jusqu'à 1978 et s'étend jusqu'au 01/03/2016. Elle compte :

- 19 245 brevets uniques
- 11 852 inventeurs uniques
- 4 478 *applicants* uniques
- 759 communes uniques de l'aire métropolitaine lyonnaise possédant un inventeur
- 18 868 codes IPC uniques

À partir de ces données, il est possible de produire des ratios et des distributions sur ces valeurs brutes afin de donner les ordres de grandeur du phénomène d'invention dans l'aire métropolitaine lyonnaise.

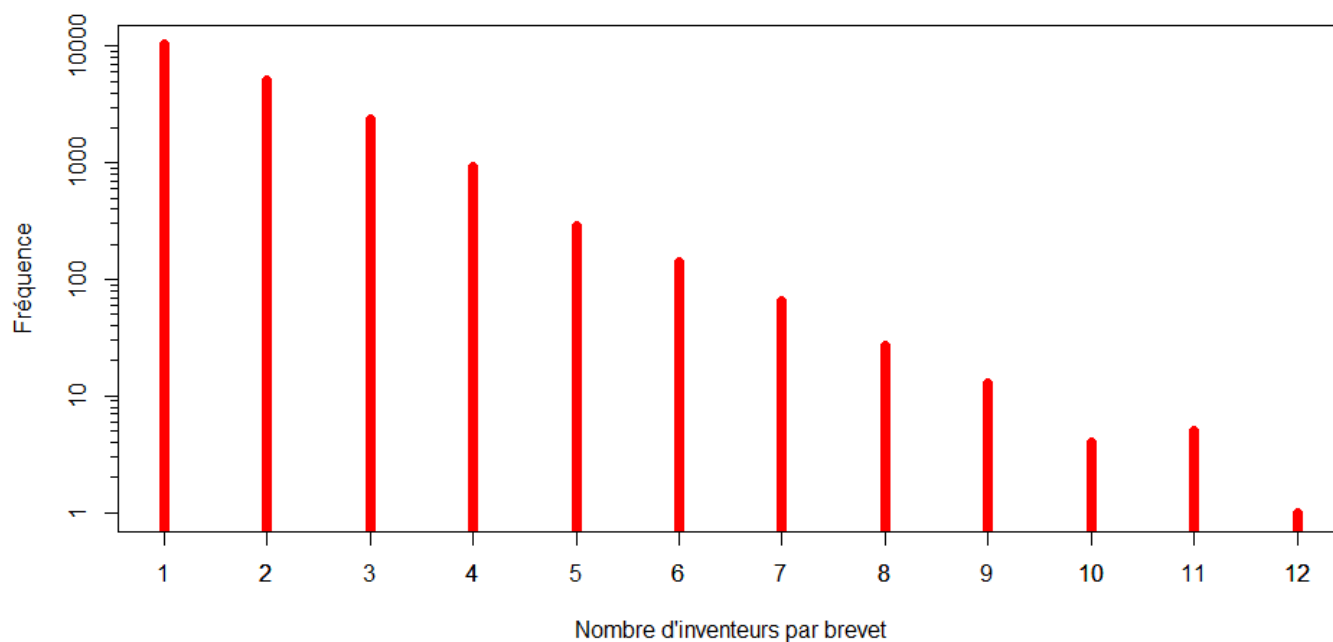
Pour la production des inventeurs, près de 6 000 inventeurs n'ont déposé qu'un seul brevet, le maximum étant de 65 (Fig.3.2).

FIGURE 3.2 – Fréquence des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise de 1978 à 2017 selon leur nombre de brevets déposés



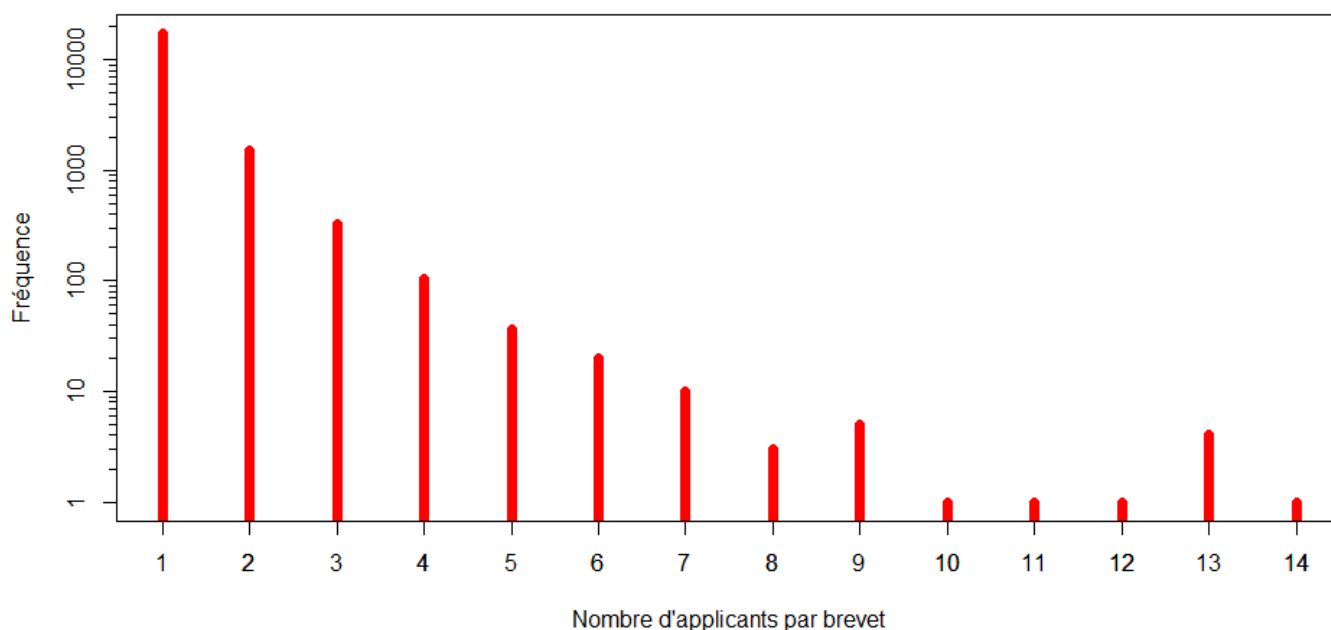
Aussi, plus de 10 000 brevets n'ont été réalisés que par un seul inventeur comme on peut l'observer sur la figure 3.3

FIGURE 3.3 – Fréquence des brevets par nombre d'inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise de 1978 à 2017



Parmi les brevets, près de 11 000 n'ont été réalisés que par un seul *applicant* dans la période 1978-2016, le maximum montant à 17 (Figure 3.3). Ainsi parmi les 19 215 brevets répertoriés, 2 015 brevets ont été réalisés par 2 *applicants* ou plus (soit 10%). Ce sont ces brevets que nous appelons co-brevet, ou processus de co-brevetage.

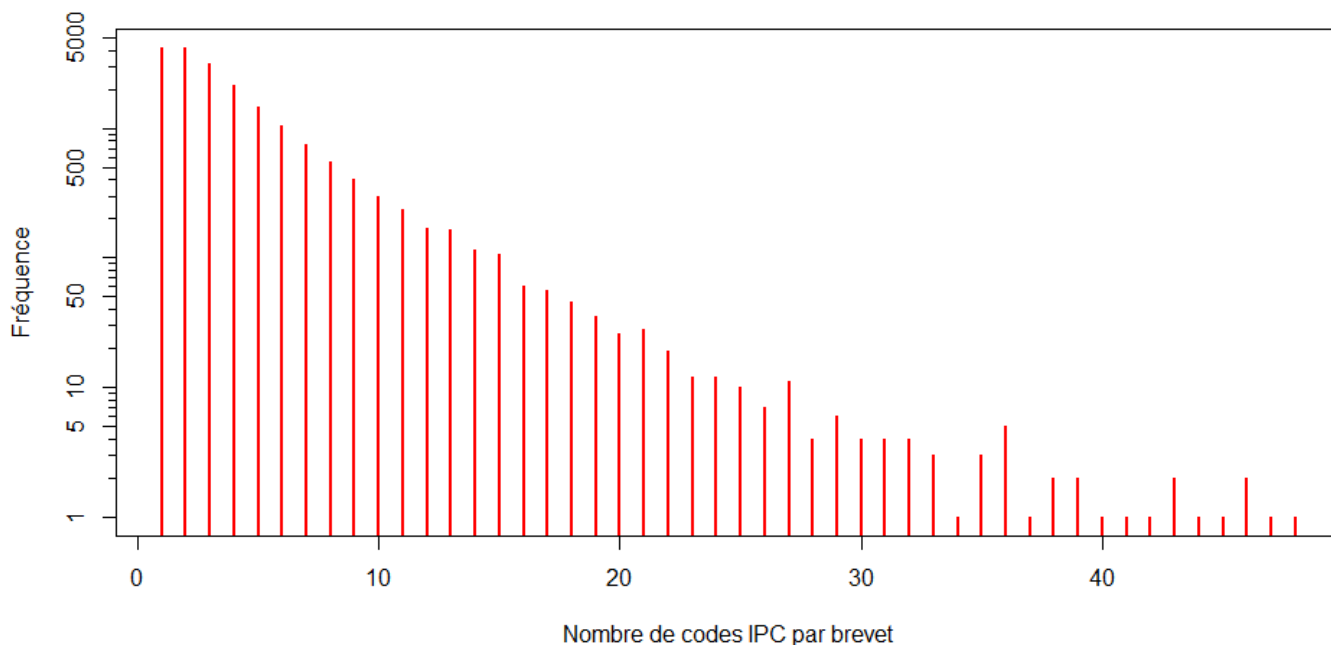
FIGURE 3.4 – Fréquence des brevets par nombre d'*applicants* de l'aire métropolitaine lyonnaise de 1978 à 2017



3. Choix du territoire d'étude et présentation des données

En ce qui concerne les technologies, 4.069 brevets ne sont qualifiés que par un unique code IPC, presque autant par deux codes IPC et le nombre de codes IPC par brevet suit la distribution présentée sur la figure 3.4.

FIGURE 3.5 – Fréquence des brevets de l'aire métropolitaine Lyonnaise de 1978 à 2017 selon leur nombre de codes IPC



De la même façon, on trouve que :

- Un inventeur maîtrise en moyenne 9 technologies (codes IPC) ;
- Un *applicant* maîtrise en moyenne 10.8 technologies, le maximum observé étant de 3048 ;

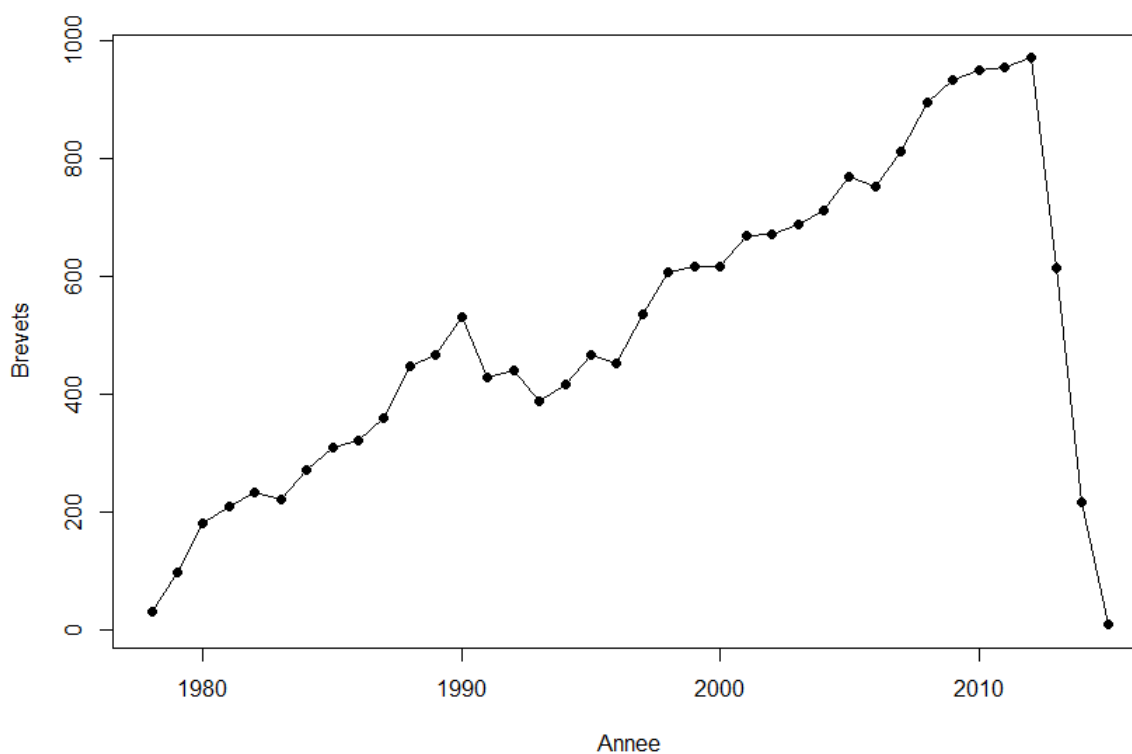
L'*applicant* peut théoriquement être relativement distant de l'inventeur, car un certain nombre d'entreprises ou d'organisation décident de mettre l'adresse de leur siège social dans le champ approprié. Cela n'exclut pas pour autant l'inexistence de l'entreprise sur le territoire de l'aire métropolitaine lyonnaise, bien au contraire. Ainsi, 50.18% des *applicants* ont rempli une adresse se situant à l'extérieur de l'aire métropolitaine lyonnaise et cela indique généralement des liens de filiation.

3.5 Discrétisation temporelle

Une partie de l'étude s'attachant aux dynamiques et évolutions de ce système, une discrétisation temporelle doit alors être effectuée.

Nos données sont définies entre 1978 et février 2016, observons alors la distribution du nombre de brevets délivrés par année de demande dans l'aire métropolitaine lyonnaise sur la figure 3.6.

FIGURE 3.6 – Nombre de brevets déposés par année dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)



On remarque une croissance claire entre 1978 et 2012 puis un soudain déclin à partir de cette année. Cela s'explique très bien par le temps d'octroi du brevet qui est en moyenne de 3 ans et demi (EPO, 2007). Aussi, les brevets demandés après 2012 ne sont pas encore tous traités et délivrés à la date de sortie de la base de données.

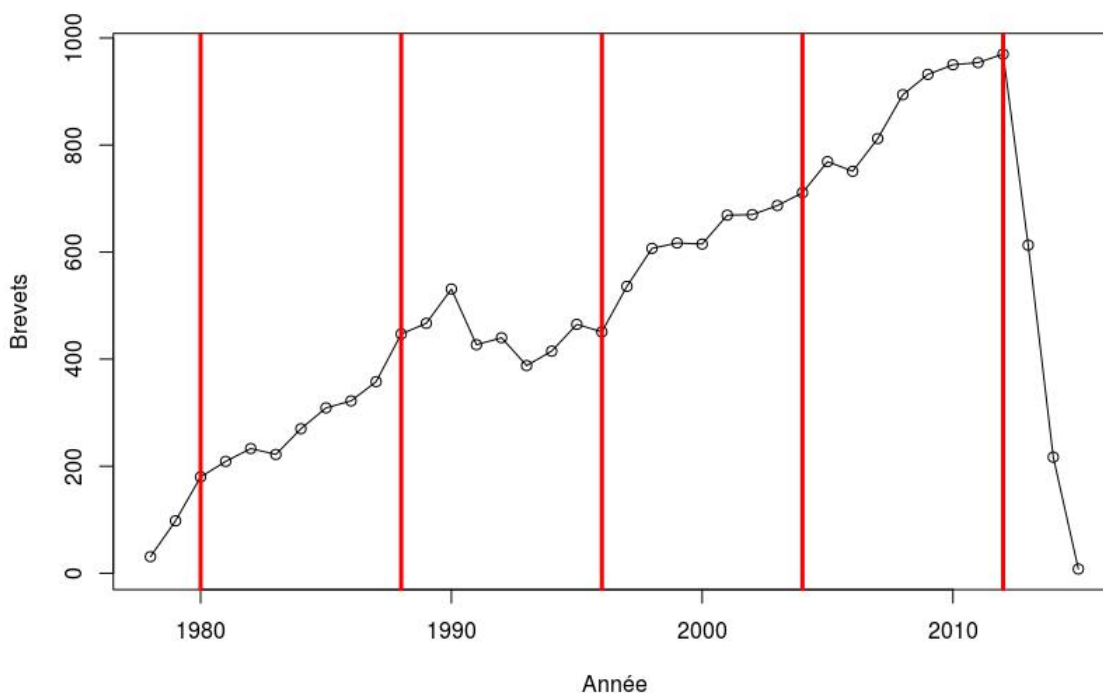
3. Choix du territoire d'étude et présentation des données

On prendra donc 2012 comme dernière année observable lors de notre approche sur les dynamiques. Remontant dans le temps de façon régulière, on définit alors des périodes de 8 années comme suit :

- Période 1 = [1980-1987]
- Période 2 = [1988-1995]
- Période 3 = [1996-2003]
- Période 4 = [2004-2012]

Les années 1978 et 1979 ne sont par conséquent pas incluses dans l'étude de même que les données les plus récentes en raison du faible nombre de données. Ces périodes sont représentées sur la figure 3.7 par les traits rouges verticaux.

FIGURE 3.7 – Dépôts de brevets et périodes considérées pour l'analyse dynamique dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)



3.6 Logiciels et méthodes utilisées

Le traitement des données a principalement été effectué à l'aide du langage R et de la distribution RStudio. Les packages employés sont les suivants :

- *igraph* : pour la transformation des cooccurrences en matrices d'adjacence puis en réseaux et leurs analyses de centralités, de distances, diamètre, plus courts chemins, densité, coefficient de clustering et génération de graphes aléatoires pour la comparaison ;
- *sp*, *spdep*, *geospacom* et *rgdal* : pour la création de la matrice des distances à partir de shapefile ;
- *stats* : pour le calcul des droites d'ajustements avec la fonction *lm* ;

Les réseaux ont été réalisés grâce aux logiciels Gephi et Tulip, retouchés lorsque nécessaire avec le logiciel Inkscape. Les cartes ont été réalisées avec le logiciel QGIS.

L'ensemble des traitements, analyses et visualisations présentés ici ont ainsi été effectués avec des logiciels libres et gratuits.

4

Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

4.1 Réseaux de proximité

Dans cette section, nous définirons et caractériserons les réseaux de proximité technologique, organisationnelle, sociale et géographique. Nous détaillerons leurs constructions et leurs caractéristiques, permettant ensuite d'analyser leurs structures (les positions des acteurs et leurs collaborations) et évolutions.

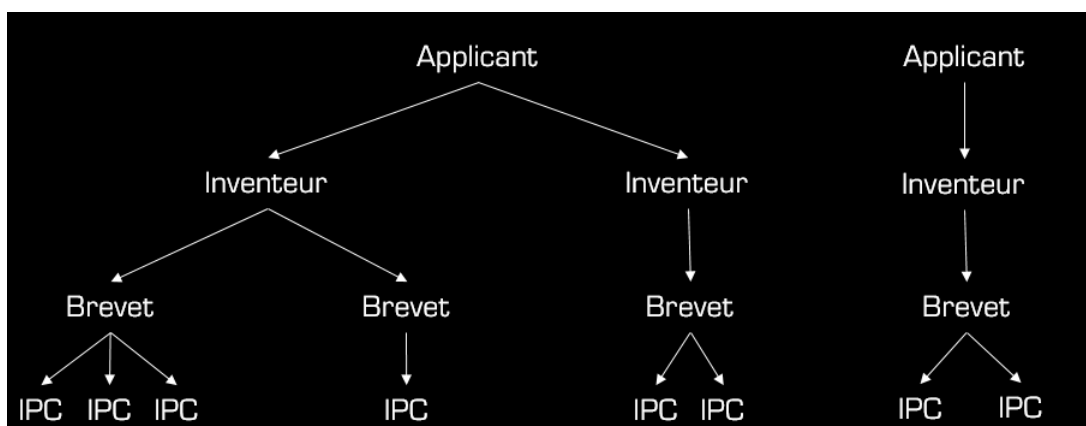
4.1.1 Proximité technologique

La proximité technologique représente le partage d'expériences technologiques ou de base de connaissances. Les similitudes dans les connaissances technologiques, parfois désignées comme proximité cognitive, facilitent l'apprentissage entre les acteurs ainsi que l'anticipation des développements technologiques. La proximité technologique entre acteurs facilite l'acquisition et le développement de connaissances et de technologies. Le niveau dyadique de la proximité technologique, c'est-à-dire les relations entre acteurs deux à deux, stipule que les organisations doivent disposer de bases de connaissances comparables afin de pouvoir reconnaître les possibilités offertes par la collaboration, mais une base de connaissances spécialisées suffisamment différente afin de permettre une utilisation efficace et créative des nouvelles connaissances. En d'autres termes, les entreprises doivent être assez semblables dans les bases de connaissances pour pouvoir reconnaître les opportunités offertes par les autres acteurs, mais suffisamment différentes pour apporter de nouvelles connaissances.

Pour la construction du réseau de proximité technologique ou cognitive, on s'appuie sur la classification internationale des brevets (OMPI, 2017). Le fait que chaque brevet soit

qualifié par plusieurs catégories IPC, rend ces catégories proches : c'est cela que nous considérons comme une proximité. À d'autres niveaux, des mêmes *applicants* ou inventeurs déposant des brevets de différentes catégories IPC vont induire des proximités entre ces catégories. Comme l'illustre la Figure 4.1, de multiples catégories technologiques qualifient les brevets qui se rattachent à des inventeurs et à des « *applicants* » (les entreprises qui emploient ces inventeurs). Donc ici les proximités entre ces catégories peuvent être estimées de manière distincte aux trois niveaux que sont : les brevets, les inventeurs ou les *applicants*.

FIGURE 4.1 – Exemple d'organisation de niveaux d'analyse possibles des brevets



4.1.1.a Choix du niveau de co-apparition pour la construction des réseaux

Le choix du niveau de co-apparition des codes technologiques aux brevets, inventeurs ou *applicants* n'est pas neutre car il renvoie à différentes acceptions de la proximité. Effectivement, un rattachement au niveau des brevets signifie de considérer l'espace technologique au niveau de l'« objet » brevet qui est créé pour une et une seule occasion particulière. Un rattachement du code technologique aux inventeurs correspond lui à approcher le niveau social des individus, leurs formations, leurs rencontres, leurs expériences et leurs relations. Enfin un rattachement du code technologique aux *applicants* nous amènerait à considérer un réseau économique d'organisations ayant chacune sa base de connaissances plus ou moins spécialisées et plus ou moins diversifiées selon la taille et l'ancienneté de l'organisation.

Dans la base de données, nous trouvons en moyenne 4 codes IPC par brevet, 3 brevets par inventeur (12.18 IPC) et 5 par applicant (21 IPC). En construisant les différents réseaux sur la base de la cooccurrence des codes IPC (entiers), on s'aperçoit que le choix de la distance technologique selon ce principe nous amène à considérer des réseaux bien différents (Tab.4.1) :

Tableau 4.1 – Variation des mesures dans les distances technologiques mesurées sur les brevets, sur les inventeurs et sur les *applicants* dans l'aire métropolitaine lyonnaise (codes IPC détaillés), 1978-2017

	Brevets	Inventeurs	<i>Applicants</i>
Nœuds (Technologies IPC)	18 868	18 868	18 868
Liens entre IPC (non-dirigés)	183 075	1 184 816	10 914 855
Densité totale des réseaux d'IPC	0.001	0.007	0.061
Degré moyen	19.41	125.6	1156.9
Degré pondéré moyen	28.9	222.3	1316
Coefficient de clustering (transitivité)	0.272	0.748	0.864
Communautés (alg. Louvain)	1181	499	427
Modularité (alg. Louvain)	0.72	0.56	0.34
Composantes connexes	521	485	397
Plus grande composante	16 701	17 945	18 120
Plus courts chemins moyen	5.01	3.44	2.51

En ayant 19 245 brevets, menés par 11 852 inventeurs et 4 478 *applicants*, les ordres de grandeur des réseaux de cooccurrences de codes IPC sont, par évidence, inégaux. Sur les 18 868 technologies uniques répertoriées dans l'aire métropolitaine lyonnaise, quand on regarde la façon dont leurs cooccurrences apparaissent, et donc le nombre de liens entre elles, au niveau des brevets on trouve 183 075 cooccurrences ou liens non-dirigés, 1 184 816 au niveau des inventeurs et 10 914 855 pour les *applicants*.

Ainsi, le nombre de liens du réseau des inventeurs est 6 fois plus élevé (car contient 6 fois plus de cooccurrences) que celui des brevets et le nombre de liens du réseau des *applicants* est 10 fois plus élevé que celui des inventeurs. Étant donné que les brevets se regroupent par inventeur et que les inventeurs se regroupent par *applicant*, les technologies dans leur réseau de cooccurrences au niveau des *applicants*, seront donc davantage liées. Il en découle que le réseau formé sera par donc plus dense et clusterisé (0.86 contre 0.27 pour les brevets).

4.1.1.b Choix du niveau de nomenclature pour la construction des réseaux

En plus du choix du niveau de cooccurrence se pose le niveau de finesse de la nomenclature IPC. Ces classes de technologie, comme on l'a vu, peuvent être considérées à différents niveaux de précision grâce à leur définition de catégories décomposées hiérarchiquement. Le réseau sera en lui-même affecté par la distribution des brevets qui n'est pas la même selon la catégorie IPC choisie. Ainsi, un des paramètres importants dans l'évaluation est la prise en compte du code dans son intégralité ou non. En effet, selon la précision IPC choisie (et donc la longueur du code IPC), on arrive à des résultats sensiblement différents (Tab.4.2).

Tableau 4.2 – Nombre de technologies présentes dans l'aire métropolitaine lyonnaise selon le niveau d'agrégation des catégories de brevets, 1978-2017

Catégorie IPC	Nombre de catégories IPC dans l'aire métropolitaine Lyonnaise	Nombre total de catégories IPC dans le monde
5- Sous-groupes	18 868	61 397
4- Groupes	3 867	7 314
3- Sous-classes	574	639
2- Classes	121	129
1- Sections	8	8

Au niveau des sous-groupes (code total), existent 18 868 codes IPC apparaissant dans l'aire métropolitaine lyonnaise, au niveau des groupes il n'y en a plus que 3 867, au niveau des sous-classes 574, au niveau des classes 121 nœuds et 8 nœuds au niveau des sections.

Pour les sous-groupes, on a donc 18 868 classes uniques avec en moyenne 4.2 brevets par classe et la médiane à 2. Pour étudier la distribution des différentes catégories IPC dans le but de comparer leurs hiérarchies, on se rapporte à la loi de Zipf (loi rang taille) :

$$Taille = \frac{\alpha}{Rang^\beta} \quad (4.1)$$

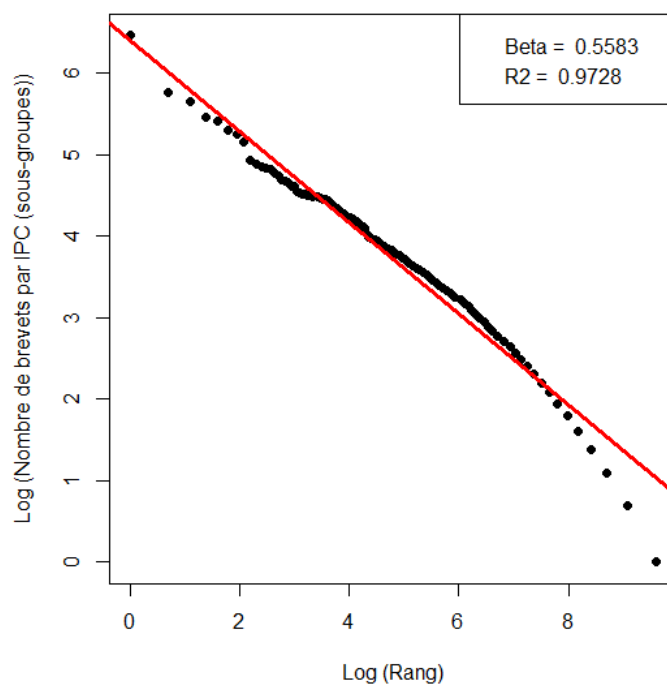
α est égal à la taille du premier élément (classé en premier selon une variable). β égal à 1 signifie que la taille de l'élément au rang 2 est deux fois plus petite que l'élément au rang 1. Aussi, dans une transformation logarithmique, le paramètre β représente la courbe de la droite de régression puisque d'après l'équation 4.1 :

$$\log(Taille) = \log \alpha - \beta \log(Rang) \quad (4.2)$$

La distribution des sous-groupes IPC représentée de façon logarithmique sur la figure 4.2 est ainsi une loi de Zipf avec un paramètre β de 0.56, ce qui signifie que la hiérarchisation

est bien moins forte que dans une loi de Zipf puisque la taille d'un élément n'est pas divisée par son rang, mais par le rang à la puissance 0.56, ce qui est bien moindre. Le R2 indique la qualité de l'ajustement de la droite de régression.

FIGURE 4.2 – Distribution hiérarchique des sous-groupes de technologies IPC dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)

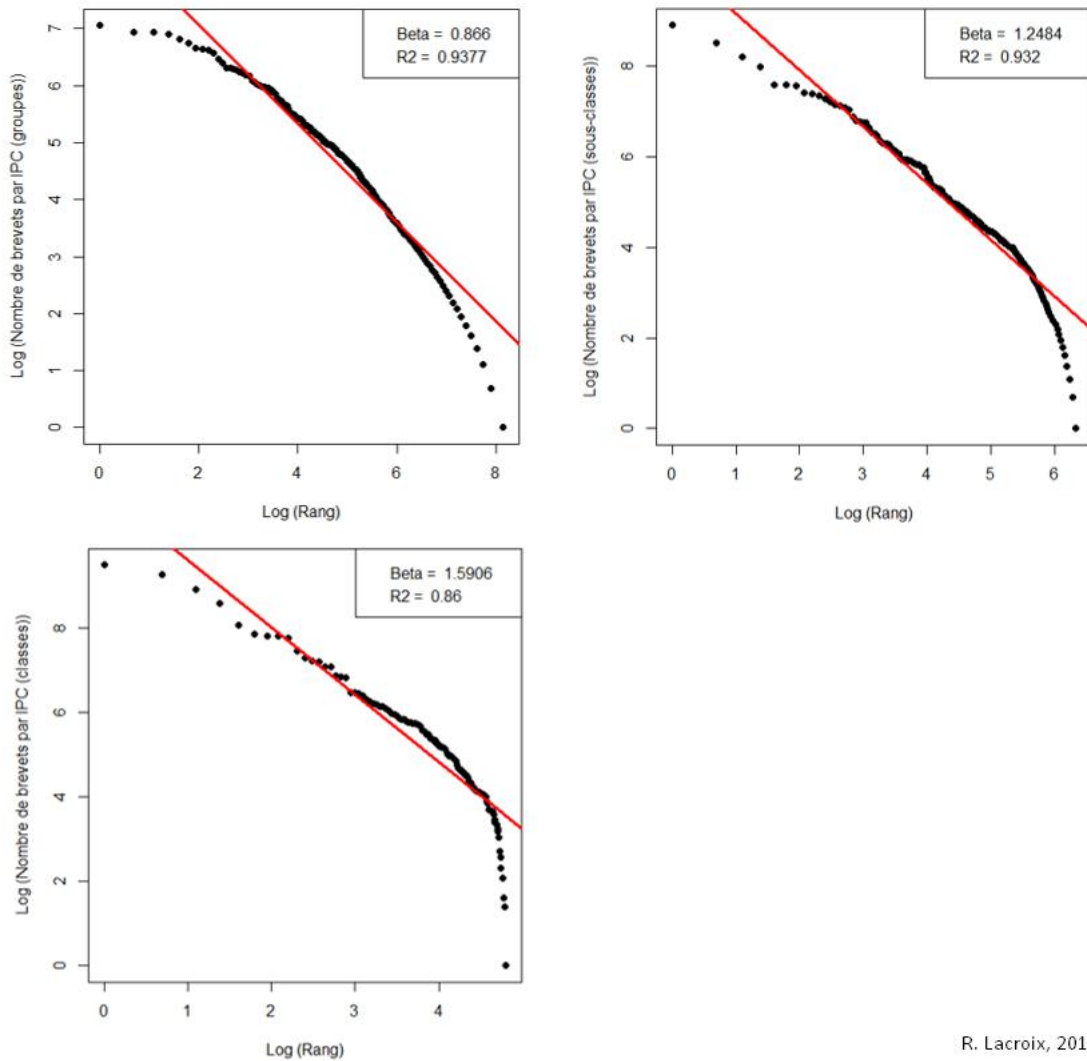


Pour les groupes IPC, on a 3 731 codes uniques avec en moyenne 20.2 brevets par groupe et la médiane à 4. La distribution sur la figure 4.3 montre une hiérarchisation plus forte dans la loi rang taille, phénomène observé également pour les sous-classes et classes.

Les différentes mesures structurelles obtenues selon les quatre principaux niveaux d'agrégation de nomenclature montrent encore une fois que les analyses subséquentes sont fortement impactées par le choix du réseau (Tab. 4.3).

Ici aussi, plus le code IPC est précis – plus la catégorie d'analyse choisie est fine –, moins le réseau est dense et plus il est clusterisé, exception faite du niveau des classes où le coefficient de clustering est élevé du fait du très faible nombre de nœuds et donc de la probabilité forte que deux nœuds liant un troisième soient également liés. Ceci oriente le choix que nous allons faire du niveau d'agrégation de la nomenclature pour construire le réseau de proximité technologique.

FIGURE 4.3 – Distribution hiérarchique des groupes, sous-classes et classes de technologies IPC dans l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017)



R. Lacroix, 2017

En effet, les sous-groupes IPC offrent la meilleure précision technologique, mais présentent un nombre de communautés trop important (1 182) pour l'analyse particulière de chacune d'entre elles. Par ailleurs, 11.5% des technologies ne sont pas incluses dans la composante principale et devraient donc être traitées séparément. À l'autre extrémité de la nomenclature, les classes présentent une densité vraiment très importante (0.266), cela signifiant qu'un nœud a plus d'une chance sur quatre d'être connecté à un autre, il y aurait donc trop de liens par rapport au nombre de nœuds ce qui nuirait à l'explication de ceux-ci.

Tableau 4.3 – Variation des mesures dans les distances technologiques mesurées sur les différentes nomenclatures dans les 19 245 brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

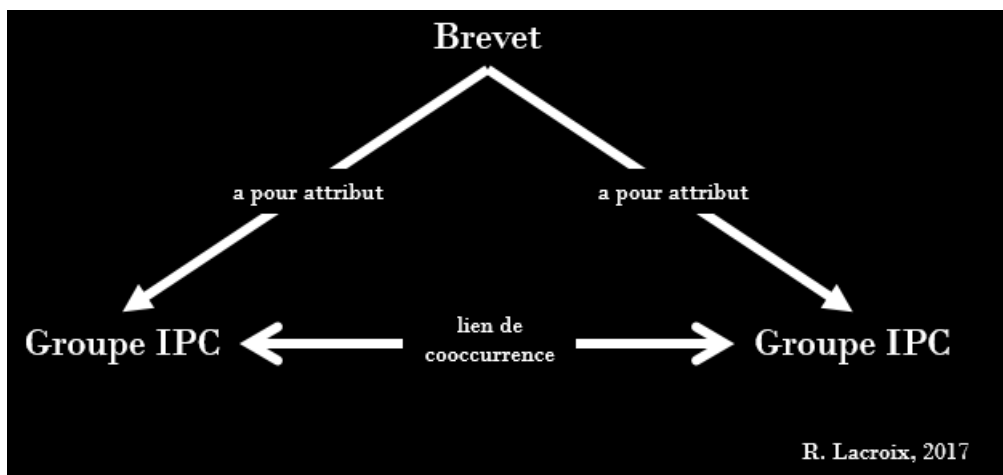
Type co-occurrence	Sous-groupes	Groupes	Sous-classes	Classes
Nœuds (Technologies IPC)	18 868	3867	574	121
Liens entre IPC (non-dirigés)	183 072	33 870	6 641	1 930
Densité totale des réseaux d'IPC	0.001	0.005	0.040	0.266
Degré moyen	19.41	17.52	23.14	31.9
Degré pondéré moyen	28.9	117.7	553.3	1 876
Coefficient de clustering (transitivité)	0.697	0.532	0.429	0.567
Communautés (alg. Louvain)	1 182	182	16	3
Modularité (alg. Louvain)	0.72	0.60	0.48	0.29
Composantes connexes	521	171	1	1
Plus grande composante	16 700	3 646	563	121
Moyenne des plus courts chemins	5.01	3.793	2.54	1.77

Nous choisissons alors de considérer le réseau technologique au niveau des brevets et sur la base des groupes IPC. De cette façon, nous pourrions mettre à l'étude les informations sur les inventeurs et les *applicants* sans redondances d'un réseau technologique déjà défini à partir de ces données et le niveau des groupes permet une bonne précision dans la classification hiérarchique IPC tout en offrant des possibilités de calculs moins évidentes avec un réseau au niveau des sous-groupes 4.7 fois plus important.

4.1.1.c Analyse du réseau de proximité technologique

Le réseau de proximité technologique est ainsi construit par la cooccurrence des groupes IPC sur les brevets, c'est-à-dire que plus des codes sont partagés entre brevets, plus la relation entre ces codes est forte et plus la distance technologique entre les domaines technologiques auxquels appartiennent ces codes est courte. On peut représenter le mécanisme de construction par la figure 4.4.

FIGURE 4.4 – Méthode de construction de la proximité technologique



L'application aux brevets dont les inventeurs sont localisés dans l'aire métropolitaine lyonnaise est représentée sur la figure 4.5 où les nœuds sont de tailles proportionnelles à leur fréquence de cooccurrence (degré pondéré) et de leurs couleurs relatives à leur section IPC, plus large niveau de la nomenclature IPC. Ce réseau comporte 3 867 nœuds correspondant aux groupes IPC de l'aire métropolitaine lyonnaise, 33 870 liens non dirigés et valués représentant 227 627 cooccurrences.

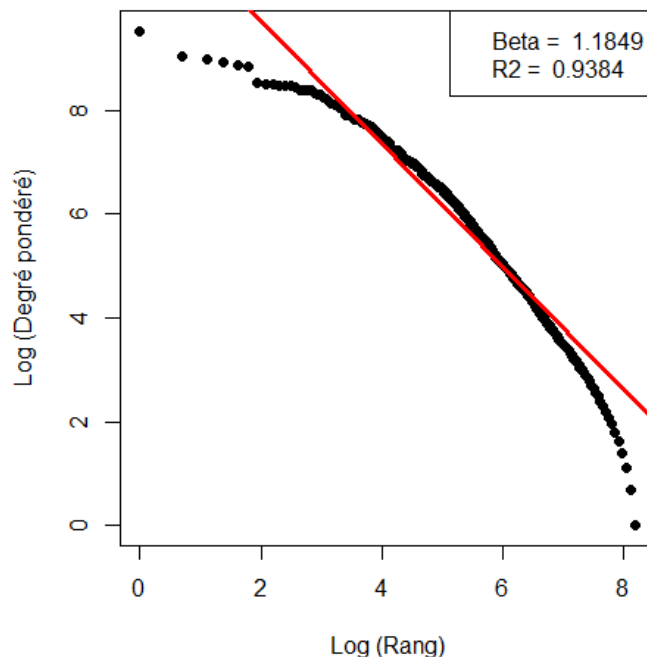
L'algorithme OpenORD (Martin *et al.*, 2011) utilisé ici pour la disposition du réseau fait ressortir un certain nombre de *clusters* technologiques. Un premier *cluster* comprend majoritairement les sections A et C, c'est-à-dire les technologies médicales et la chimie, un deuxième comprend les sections B et C, soit les techniques industrielles et la chimie, et un troisième entre les deux avec les trois sections. En ce qui concerne les principales caractéristiques de ce réseau (Fig.4.5), plusieurs caractéristiques importantes ont été analysées.

FIGURE 4.5 – Le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Le degré pondéré moyen est de 122 et les degrés suivent la distribution représentée sur la figure 4.7. La hiérarchie est assez forte (paramètre beta de 1.18), ce qui signifie que certaines technologies monopolisent l'essentiel des relations, que certaines technologies fonctionnent comme des *hubs* alors que d'autres se contentent d'être reliées à ces *hubs*.

FIGURE 4.6 – Distribution hiérarchique des degrés pondérés dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Le coefficient de clustering global, compris ici comme la moyenne des coefficients de clustering locaux, soit le nombre de triangles (triades ou cliques) observés du graphe comparé au nombre total de triangles théoriques du graphe. Dans le contexte des réseaux sociaux, ce coefficient correspond à la probabilité que deux personnes ayant un ami commun soient amies. Aussi, plus ce coefficient est élevé, plus le clustering du réseau est important. Ici, nous trouvons un coefficient de 0.532, ce qui signifie que deux technologies toutes les deux liées à une troisième ont 53.2% de chances d'être également liées. Ce résultat est intéressant, car il confirme l'étude du réseau technologique comme un réseau social. En effet, pour les réseaux aléatoires, le coefficient de clustering attendu est proche de la densité du réseau, tandis que pour les réseaux sociaux, les valeurs entre 0.3 et 0.6 sont assez fréquentes (Snijders, 2008).

La distance moyenne des chemins les plus courts entre deux nœuds est de 3.793, ce qui signifie qu'en moyenne, en partant d'une technologie, 3.793 bonds sur le réseau technologique sont nécessaires pour arriver à une autre technologie. Ces 3.7 degrés d'écart entre deux technologies sont une caractéristique importante. En effet, les réseaux avec une

grande distance moyenne des plus courts chemins vont requérir plus de temps pour achever la diffusion d'une connaissance que dans les réseaux avec une faible distance moyenne des plus courts chemins. Aussi, plus cette distance est faible, plus les connaissances circulent facilement et induit des possibilités de recombinaison favorables à l'émergence de nouvelles connaissances.

À partir de sa structure générale, on peut vérifier s'il s'agit d'un réseau petit-monde (Watts & Strogatz, 1998). Un réseau est caractérisé de petit-monde s'il possède une moyenne des plus courts chemins supérieure ou égale à celui d'un graphe aléatoire de mêmes paramètres, et s'il possède un coefficient de clustering global bien supérieur à celui du même graphe aléatoire, ce qui peut se formaliser de la façon suivante (Humphries & Gurney, 2008) :

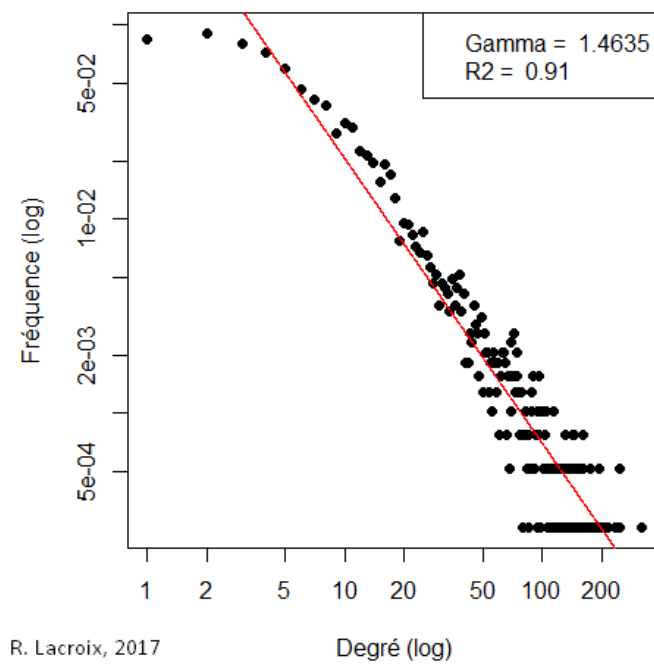
$$\sigma = \frac{\frac{C_{Clust}}{C_{Clust}^{random}}}{\frac{ASPL}{ASPL^{random}}} \quad (4.3)$$

avec C_{Clust} , le coefficient de clustering et $ASPL$ la moyenne des plus courts chemins (*average short path length*) et *random* leur équivalent pour un graphe aléatoire.

Nous prenons donc une centaine de graphes aléatoires de 3 867 nœuds et 33 870 liens. Ceux-ci ont une moyenne des plus courts chemins de 3.171, et un coefficient de clustering de 0.004497. Cela nous donne un $\sigma = (0.532/0.004497)/(3.793/3.171) = 98.9$, ce qui est très largement supérieur à 1. Reprenant la définition annoncée plus haut, on a en effet une moyenne des plus courts chemins supérieure et un coefficient de clustering bien supérieur à un réseau aléatoire (rapport de 100 contre 1). On peut donc affirmer qu'il s'agit d'un réseau petit-monde.

Ensuite, on peut tester s'il s'agit d'un réseau invariant d'échelle. Le réseau est dit invariant d'échelle si, la distribution des degrés suit l'équation $P(k) \sim k^{-\gamma}$, où $P(k)$ désigne la fréquence et k le degré, γ étant généralement compris entre 2 et 3 quand le phénomène d'attachement préférentiel est puissant (Barabasi & Albert, 1999). Ici, quand on ajuste la distribution des degrés avec une loi de puissance (Fig. 4.7), on trouve un γ égal à 1.46 avec un R2 de 0.91, ce qui signifie qu'il s'agit bien d'un réseau invariant d'échelle, avec toutefois un attachement préférentiel moins puissant que dans la plupart des réseaux sociaux.

FIGURE 4.7 – Distribution des degrés dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



4.1.2 Proximité organisationnelle

Nous voulons ensuite considérer l'impact de la proximité organisationnelle. Comme nous l'avons évoqué précédemment, la proximité organisationnelle souffre d'une ambiguïté conceptuelle assez importante (Knoben & Oerlemans, 2006). D'abord, différentes définitions de cette proximité ont été proposées. Elle a été définie comme « *les acteurs qui appartiennent au même espace de relations* » (Oerlemans & Meeus, 2005), comme « *les acteurs dont les interactions sont facilitées par des règles implicites ou explicites et des comportements routiniers et partageant un même système de valeurs communes, représentations et croyances* » (Torre & Rallet, 2005), ou comme « *la proximité entre les employés d'un même groupe s'identifiant les uns les autres par la connaissance des routines propres à l'entreprise* » (Schamp *et al.*, 2004) .

Cette proximité organisationnelle peut alors s'observer à deux niveaux différents : au niveau dyadique et au niveau structural. Le niveau structural se base sur l'équivalence structurelle des acteurs pour définir la proximité organisationnelle comme l'appartenance à une même entreprise. On est alors dans le cas d'un réseau d'inventeurs liés à des entreprises. Le niveau dyadique se focalise lui sur les relations spécifiques et dans cette approche, la similitude de contexte organisationnel dans lequel opèrent les membres d'organisations différentes détermine le niveau de proximité organisationnelle. Le réseau est par conséquent exclusivement dans un réseau d'entreprises.

Le raisonnement qui sous-tend l'importance de la proximité organisationnelle pour les coopérations inter-entreprises est que ces collaborations sont plus efficaces et conduisent à de meilleurs résultats lorsque le contexte organisationnel des deux partenaires en interaction est similaire, car cette similitude facilite la compréhension mutuelle. En tant que tel, la proximité organisationnelle génère une capacité accrue à combiner l'information et les connaissances des parties collaboratrices, de transférer des connaissances tacites et d'autres ressources entre les parties. Ainsi, cette forme de proximité participe à l'apprentissage interactif et à la création conjointe de nouvelles ressources et de l'innovation (Kirat & Lung, 1999).

On traitera successivement de la proximité organisationnelle structurale – basée sur les inventeurs –, puis de la proximité organisationnelle dyadique – focalisée sur les *applicants*.

4.1.2.a Proximité organisationnelle structurale des inventeurs

Suivant la méthodologie de Cassi et Plunket (2010), la proximité organisationnelle peut d'abord être établie lorsque deux inventeurs ont déposé des brevets reconnus par le même *applicant*. On suppose alors que les inventeurs appartiennent aux mêmes organisations ou entreprises et ainsi partagent facilement des connaissances. On construit alors une matrice reliant chaque inventeur à chaque entreprise qui peut être représentée sous la forme d'un réseau d'entreprises englobant les inventeurs (Figure 4.9).

On observe deux principaux ensembles. Le premier rassemble les inventeurs œuvrant pour des acteurs publics tels que le CNRS, l'Université Lyon 1 (UNI), les Hospices Civils de Lyon (HCL) ou encore l'École Normale Supérieure (ENS). Le second ensemble rassemble les inventeurs liés au groupe Rhodia (ex-Rhône-Poulenc). Cette firme est la lointaine descendante de l'histoire industrielle chimique de Lyon, et désormais pour sa quasi-totalité propriété du groupe Solvay. Un certain nombre de liens de mobilité professionnelle, de changement d'employeur qui apparaissent sur ce réseau seront traités dans le détail dans la section suivante.

La distribution hiérarchique des degrés (Figure 4.8) montre également ces deux pôles prééminents avec un saut important dans la distribution rang-taille. Cette distribution rang-taille des degrés est par ailleurs plus égalitaire qu'une loi de Zipf avec un paramètre beta de 0.84, ce qui renvoie à l'existence d'un certain nombre d'acteurs de taille moyenne, par exemple ceux labélisés sur la figure 4.9.

FIGURE 4.8 – Distribution hiérarchique des degrés dans le réseau de proximité organisationnelle structurale des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

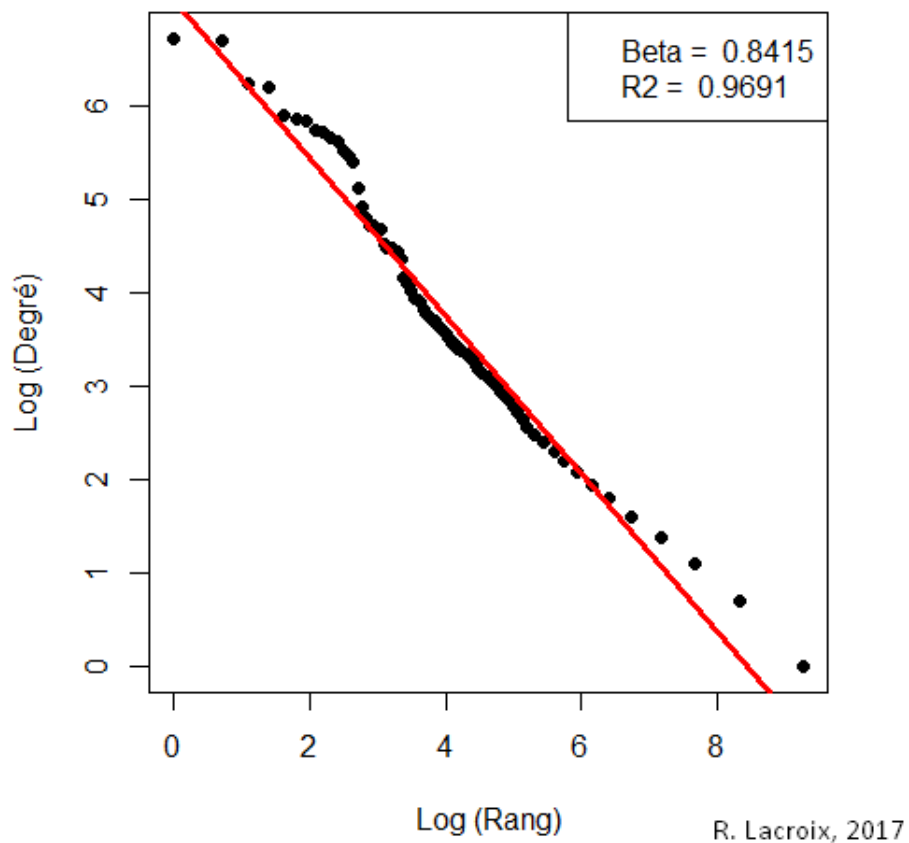
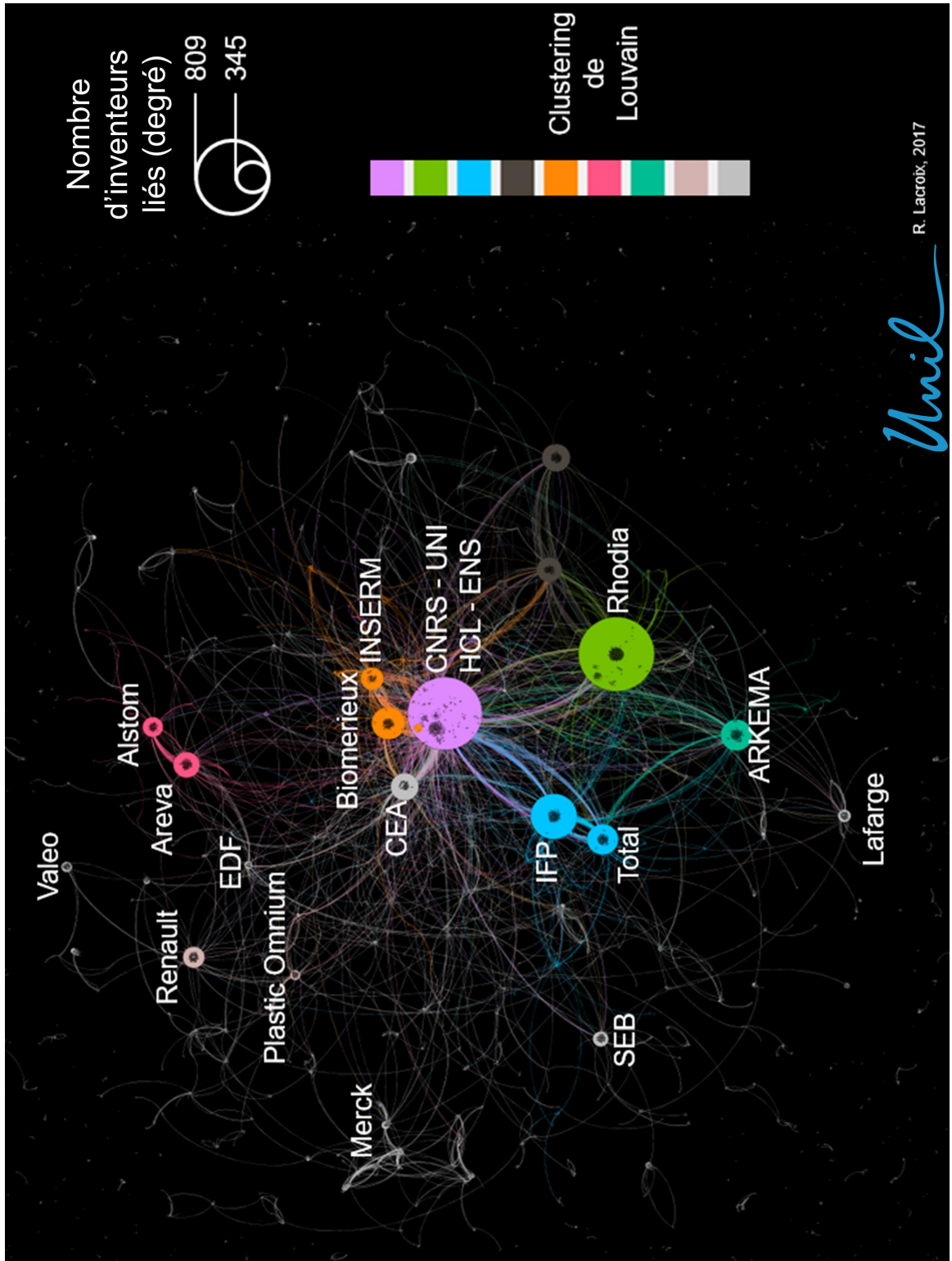


FIGURE 4.9 – Réseau de proximité organisationnelle structurale des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



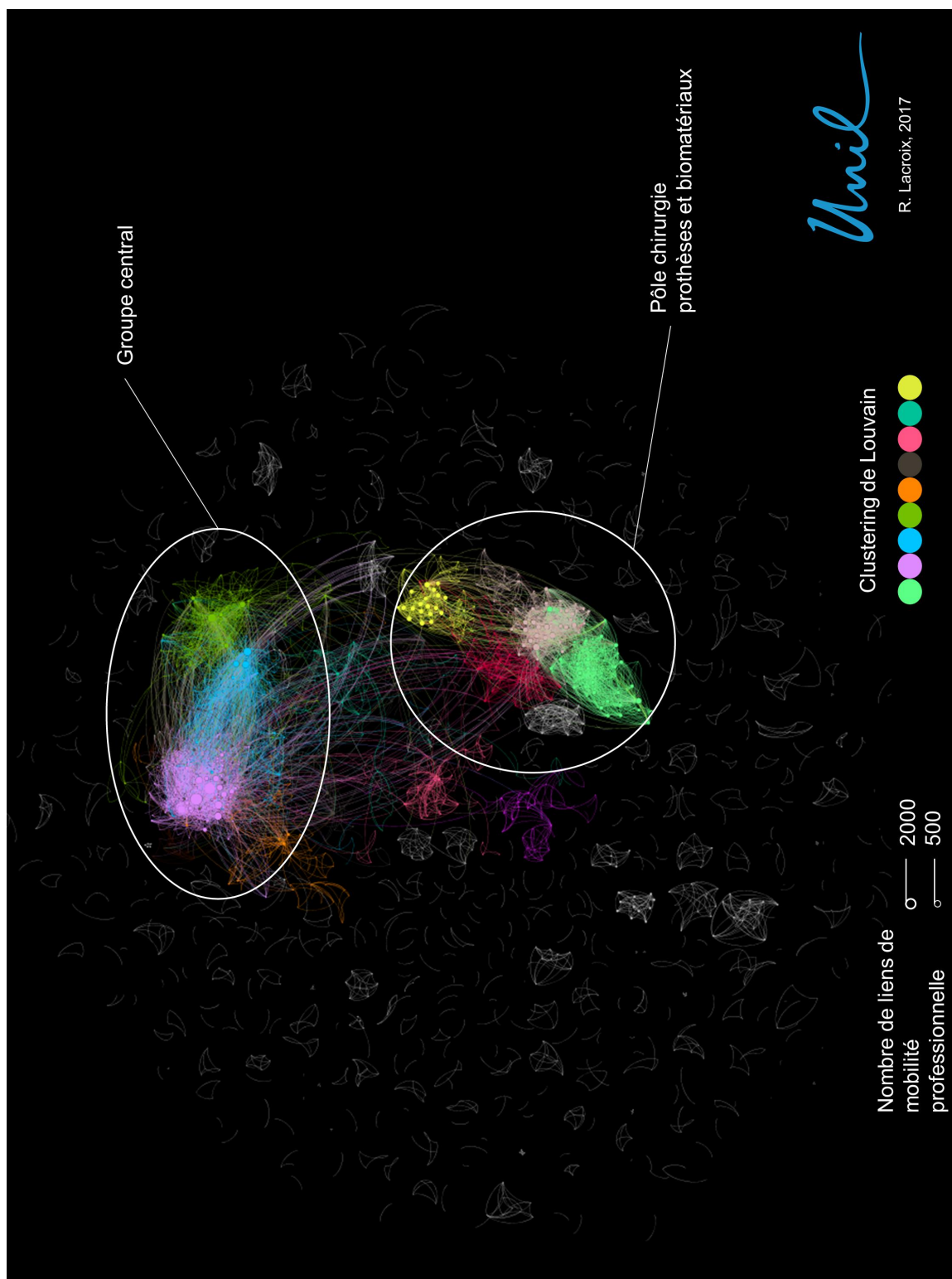
4.1.2.b Proximité organisationnelle axée sur les *applicants* : mobilité professionnelle

Une autre approche de la proximité organisationnelle consiste à se placer du point de vue des *applicants* et à considérer la proximité organisationnelle entre les organisations à partir des mouvements de personnel d'une organisation à une autre. À cet égard, nous reprenons la méthodologie de Breschi et Lissoni (2004) pour la construction du second réseau de proximité organisationnelle.

Chaque fois qu'un inventeur participe à des brevets pour un autre *applicant* (l'entreprise qui a déposé le brevet), on considère qu'il s'agit d'un changement d'employeur. Cependant, comme les données ne fournissent pas d'informations sur le moment exact du changement d'entreprise, mais seulement sur la durée entre deux dépôts de brevets, il n'est pas possible d'observer la mobilité professionnelle dans le temps. Aussi, certains inventeurs sont salariés de plusieurs organisations en même temps et il ne s'agit alors pas d'une mobilité professionnelle, mais le partage des connaissances de l'inventeur entre les deux entreprises reste tout de même effectif. En outre, seuls les inventeurs qui ont breveté leurs inventions sont pris en compte ; ainsi une grande partie de la mobilité professionnelle des inventeurs n'est pas prise en compte.

En construisant des matrices d'inventeurs ayant travaillé dans plusieurs entreprises, on peut créer une matrice entreprise / entreprise basée sur les cooccurrences d'inventeurs. Cette matrice peut être traduite en un réseau des entreprises de l'aire métropolitaine (Figure 4.10), qui sont connectées chaque fois qu'elles partagent un ou plusieurs inventeurs.

FIGURE 4.10 – Réseau de mobilité professionnelle dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



De fait, on prend la cooccurrence des *applicants* pour un inventeur unique afin de construire notre réseau. Celui-ci comporte 2 796 nœuds représentant les différents *applicants* et 7 771 liens non dirigés et valués représentant 17 203 mobilités de personnel entre organisations. On obtient par ailleurs la valeur moyenne de 1.45 mobilité d'entreprise par inventeur entre 1978 et 2017, ce nombre montant au maximum à 27 changements d'entreprise pour un inventeur. Ce réseau présente une structure assez clusterisée avec finalement trois groupes identifiables :

Une grande composante principale concentrant un peu plus de la moitié des nœuds (51.82%), des liens (82.09%) et des changements de personnel (87.39%). Celle-ci peut se subdiviser en deux groupes.

Le groupe central, marqué par les *clusters* de couleur mauve, bleu et vert (Fig. 4.11), correspondant aux institutions publiques (CNRS, Université Lyon 1) et les grandes industries chimiques et pharmaceutiques (Total, Rhodia, Arkema, Sanofi). On y trouve des mobilités importantes de personnels entre les institutions publiques de recherche tel que le CNRS et l'université (ceci est notamment dû à l'organisation française de la recherche publique avec des enseignants chercheurs à l'Université détachés au CNRS), mais également entre acteurs de la santé comme l'INSERM, Biomérieux ou le Centre Léon Bérard (centre de lutte contre le cancer), de l'automobile (PSA, Renault, Plastic Omnium), de la pétrochimie (Eni, Total, IFP) ou de la chimie organique et textile (Rhodia, Bayer, Sanofi).

FIGURE 4.11 – Réseau de mobilité professionnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017 - zoom sur le groupe principal

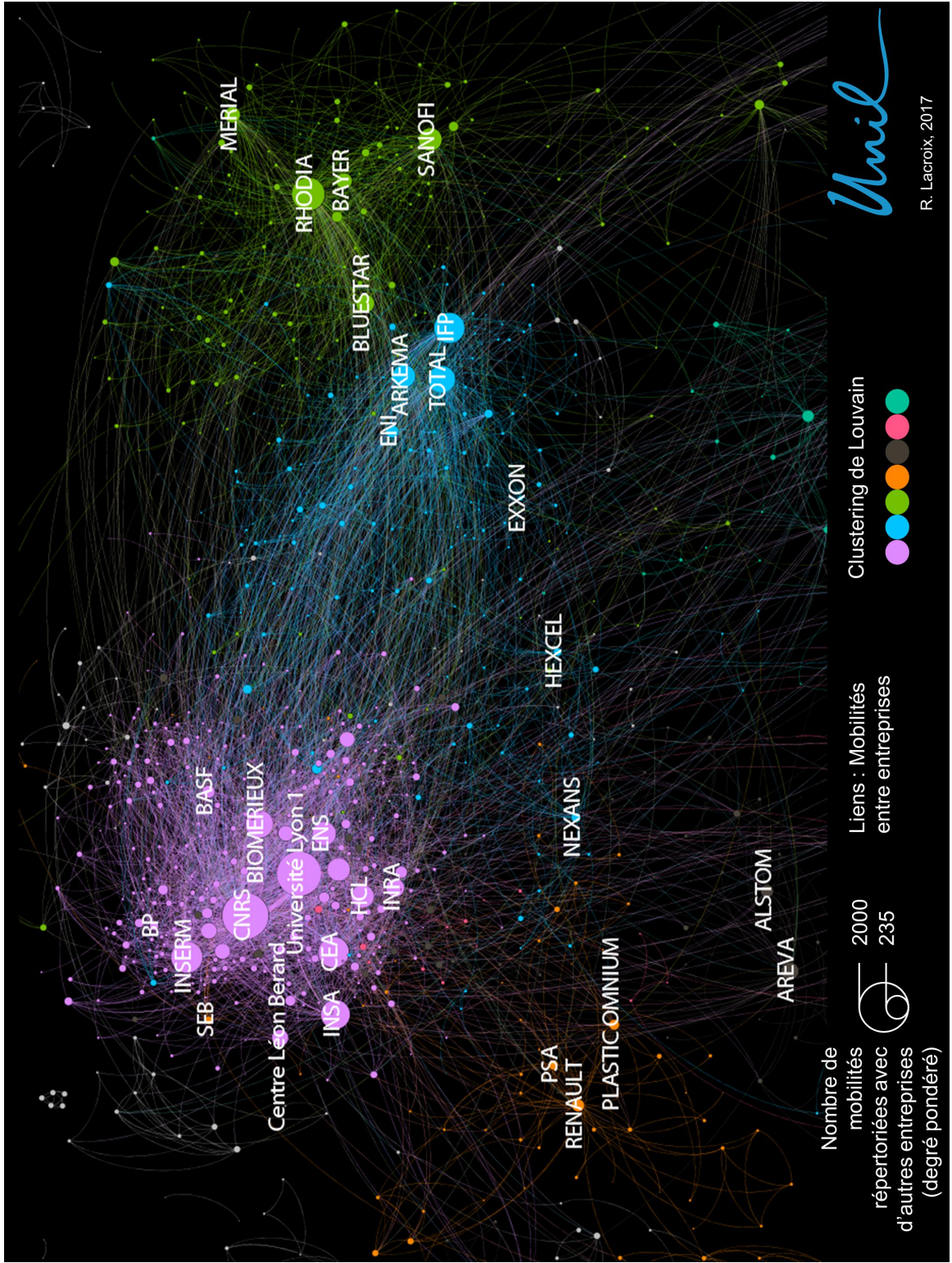
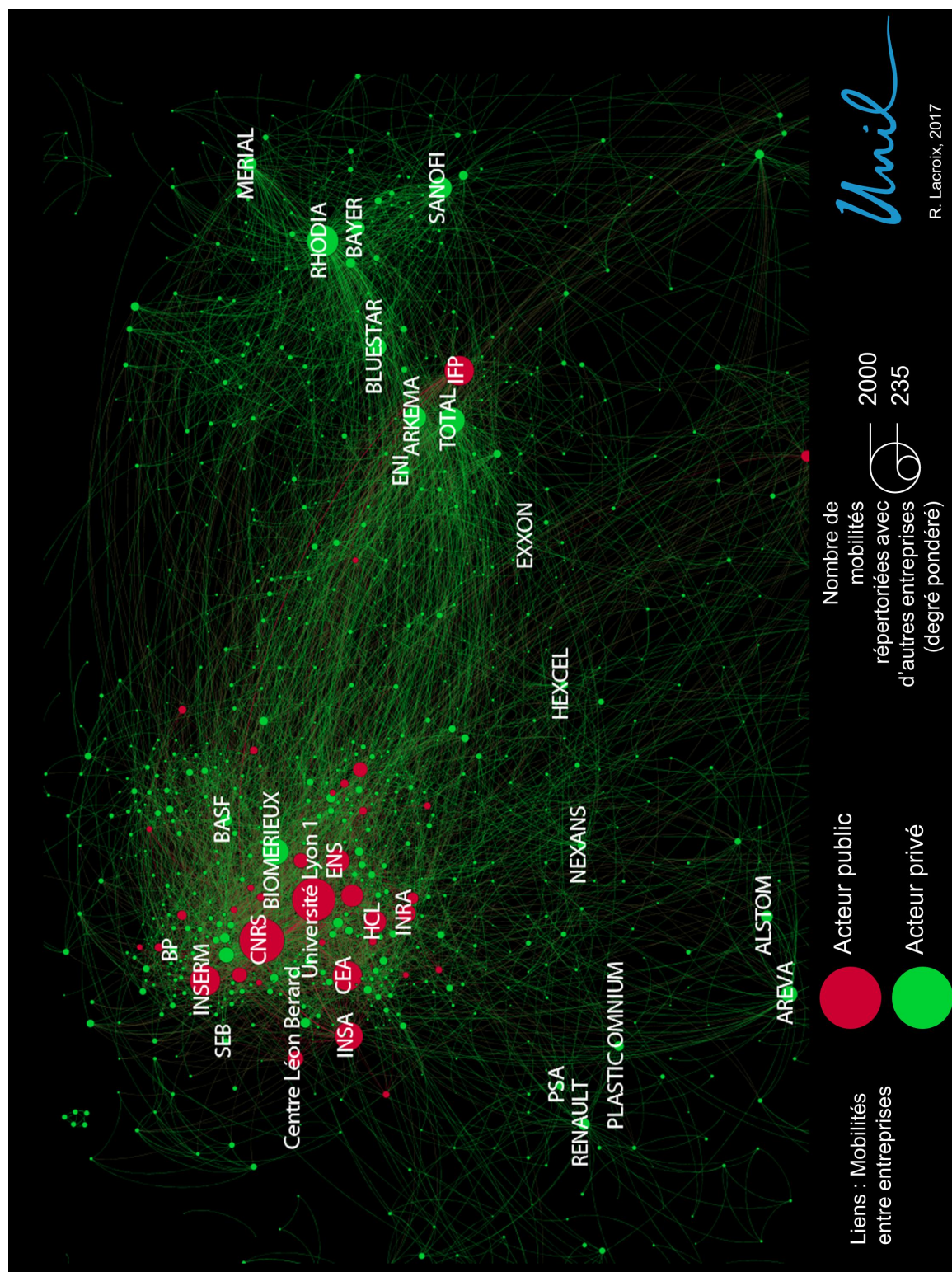


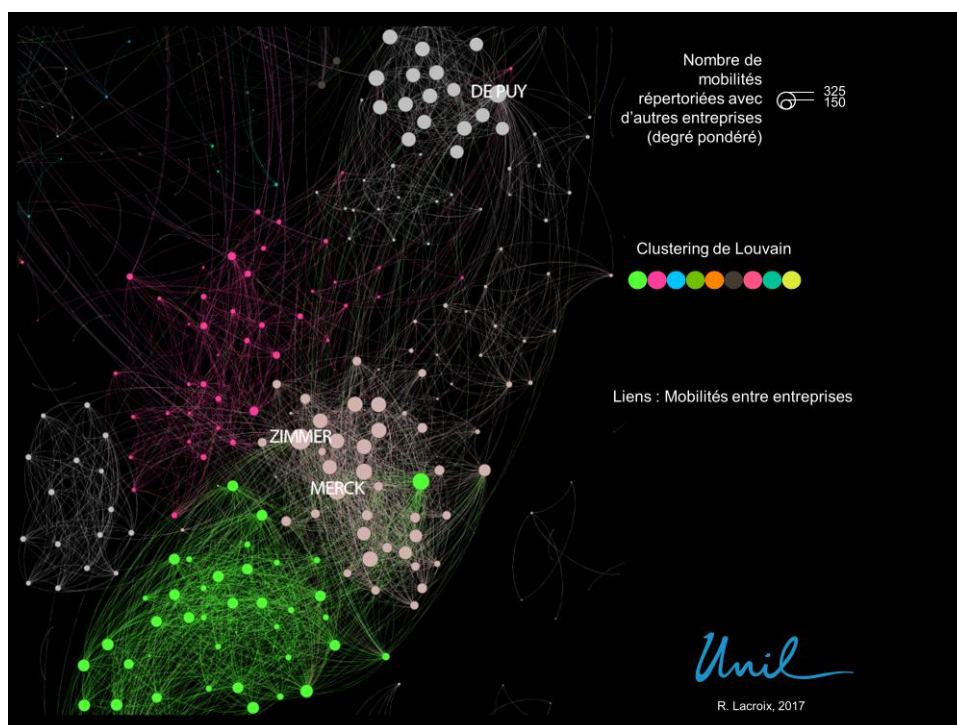
FIGURE 4.12 – Réseau de proximité organisationnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017 - zoom sur le groupe principal - distinction acteurs publics et privés



4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Le second groupe, situé plus bas sur la figure 4.11 (Fig.4.13), que l'on pourrait qualifier de pôle « Chirurgie-Prothèses-Biomatériaux », est caractérisé par un grand nombre de chirurgiens autour desquels gravitent quelques entreprises spécialisées dans ce secteur comme DePuy, Zimmer ou Merck. Un grand nombre de ces acteurs sont donc des chirurgiens ou professionnels de la santé de l'aire métropolitaine lyonnaise qui déposent ensemble des brevets de techniques de chirurgie ou de prothèses sans être rattachés à une organisation quelconque, si ce n'est leurs « équipementiers », tels que Zimmer qui développe du matériel de cryothérapie et physiothérapie ;

FIGURE 4.13 – Réseau de mobilité professionnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017 - zoom sur le pôle Chirurgie - Biomatériaux



Enfin, on observe un certain nombre de *clusters* de faible importance et très dispersés.

Le cœur du réseau est donc bien le premier ensemble marqué par les institutions publiques. À cet égard, lorsque l'on regarde les 20 relations les plus importantes en termes de « mobilité professionnelle » (Tableau 4.4), on s'aperçoit que celles-ci sont le fait de cette partie du réseau. On y trouve principalement des relations entre organisations de la recherche publique française (CNRS, Université, CEA, INSA, ENS, INSERM, HCL, INRA), des relations entre acteurs publics et acteurs privés (Biomérieux-CNRS, Rhodia-CNRS) et des relations entre acteurs privés (Rhodia-SANOFI).

Tableau 4.4 – Liens les plus nombreux de mobilité professionnelle des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise entre les *applicants*, 1978-2017

Source	Destination	Nombre
Université Lyon 1 Claude Bernard	Centre National de la Recherche Scientifique	408
TOTAL	IFP	86
Institut National des Sciences Appliquées de Lyon	Centre National de la Recherche Scientifique	85
Centre National de la Recherche Scientifique	Commissariat à l'Énergie Atomique	78
Institut National des Sciences Appliquées de Lyon	Université Lyon 1 Claude Bernard	76
Centre National de la Recherche Scientifique	Ecole Normale Supérieure de Lyon	76
École Centrale de Lyon	Centre National de la Recherche Scientifique	72
Rhodia	Bluestar Silicones France	66
Université Lyon 1 Claude Bernard	Hospices Civils de Lyon	62
Centre National de la Recherche Scientifique	INSERM	62
Centre National de la Recherche Scientifique	IFP	62
Université Lyon 1 Claude Bernard	INSERM	55
Rhodia	Centre National de la Recherche Scientifique	52
Biomérieux	Centre National de la Recherche Scientifique	51
Rhodia	Sanofi	47
Centre National de la Recherche Scientifique	Hospices Civils de Lyon	43
Centre National de la Recherche Scientifique	INRA	43
École Centrale de Lyon	Université Lyon 1 Claude Bernard	41
ENI S.p.A.	IFP	41
Biomérieux	Université Lyon 1 Claude Bernard	38

4.1.3 Proximité sociale

La proximité sociale fait référence à des relations socialement intégrées entre les agents au micro-niveau basé sur l'amitié, la parenté et l'expérience passées, etc. (Boschma, 2005; Ferru *et al.*, 2011). Le concept est parfois désigné comme la proximité personnelle (Schamp *et al.* 2004) ou comme proximité relationnelle (Coenen *et al.* 2004) pour exprimer la même idée.

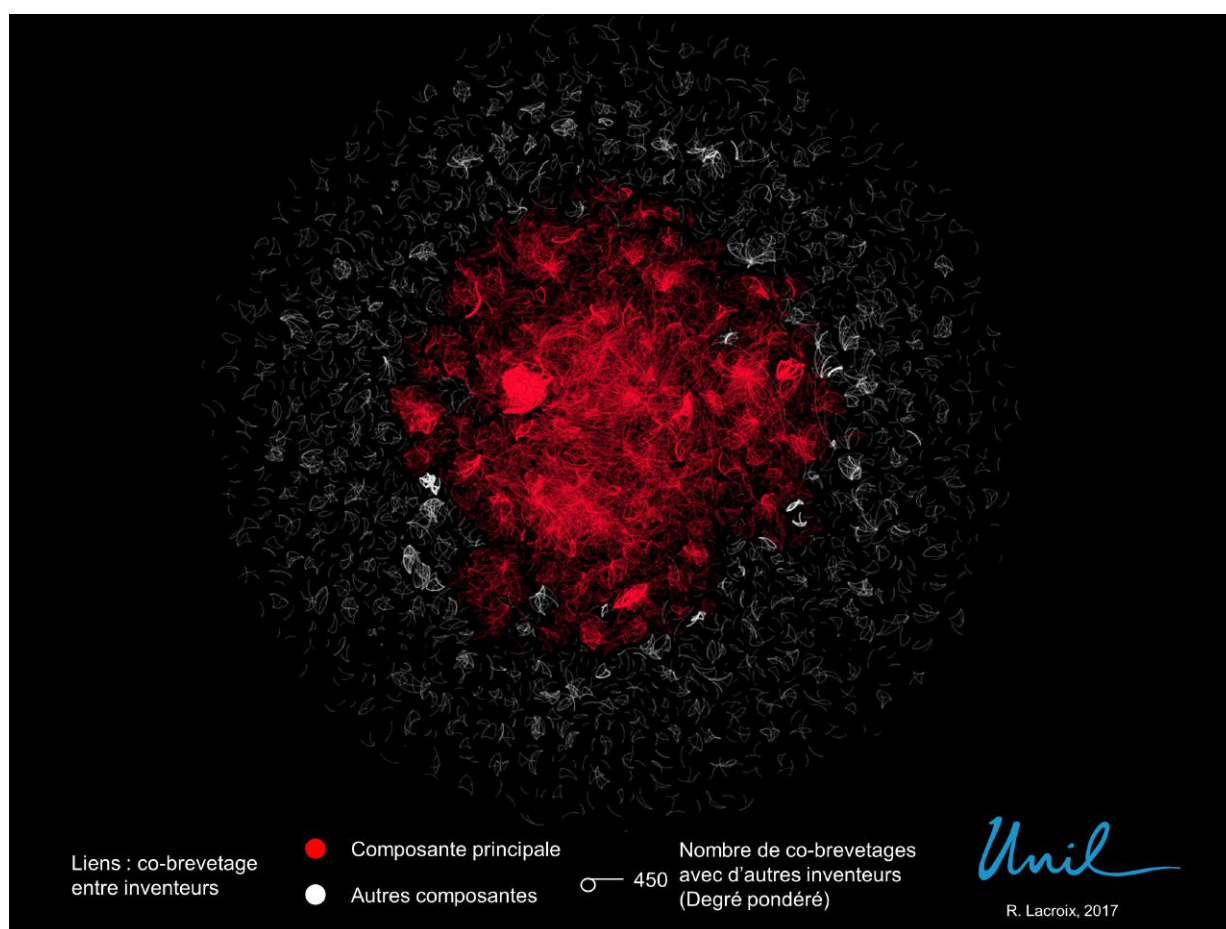
La raison principale de s'intéresser à cette proximité sociale est que « l'invention est un processus cumulatif et social » (Breschi et Lissoni, 2004). Les inventeurs ont besoin d'échanger entre eux et avec d'autres experts un très grand nombre de connaissances qui ne sont pas codifiables dans les brevets ou publications scientifiques, comme les expériences personnelles ou les erreurs apprises, les connaissances tacites. Aussi, quand deux inventeurs ont des relations fréquentes, ils se comprennent mieux, interagissent mieux, et s'échangent des connaissances plus facilement.

Le micro niveau de notre base de données, ce sont les individus, les inventeurs. On considère alors que leurs relations s'effectuent lorsqu'ils déposent ensemble un brevet. Aussi, puisque notre base de données fournit les connexions entre inventeurs sur une période de 39 ans, nous considérons qu'une fois que des inventeurs collaborent, ils gardent contact et sont capables d'échanger à nouveau des informations avec d'autres collaborateurs bien après que le brevet ait été déposé.

Les liens de co-brevetage représentent ainsi la proximité sociale entre les inventeurs de la métropole lyonnaise. Cette méthode a été utilisée à de nombreuses reprises (Breschi et Lissoni, 2004; Schifferauva et Beaudry, 2012; Graf et Henning, 2009).

De cette façon, on obtient le réseau présenté sur la figure 4.14. Ce réseau comporte 11'852 nœuds correspondants aux inventeurs de l'AML ayant co-breveté, 15'513 liens non dirigés et valués représentant 25'754 co-brevetages.

FIGURE 4.14 – Réseau social des inventeurs basé sur la participation commune à un brevet dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Ce réseau frappe d'abord par son caractère très dispersé. Malgré une composante de taille importante (en rouge, 48.38% des nœuds et 69.82% des liens), celle-ci est terriblement éclatée en de nombreuses sous-composantes. On a globalement une multitude de petits *clusters* qui font presque penser à une sorte de « Christaller social » avec une répartition relativement équitable des communautés. En effet, quand on effectue un *clustering* de Louvain (Blondel *et al.*, 2008) qui vise à optimiser la modularité de chaque groupe – c'est-à-dire la proportion de liens à l'intérieur des communautés comparée aux liens entre les communautés –, on dénombre 4 597 communautés dont les 35 plus importantes ont été coloriées sur la figure 4.15.

La figure 4.16 présente un zoom sur ces communautés. Certaines paraissent relativement organisées et avec des acteurs coopérant beaucoup comme la communauté « marron » en haut à gauche de l'image : ses inventeurs appartiennent tous à une seule branche d'entreprise, Bayer Crop Science et ne brevètent qu'entre eux. Nous verrons dans la prochaine section si l'organisation d'appartenance des inventeurs influence définitivement ce réseau

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

social et si certains individus semblent avoir une centralité plus importante au sein de ces petites communautés.

FIGURE 4.15 – Communautés de Louvain dans le réseau social des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise , 1978-2017

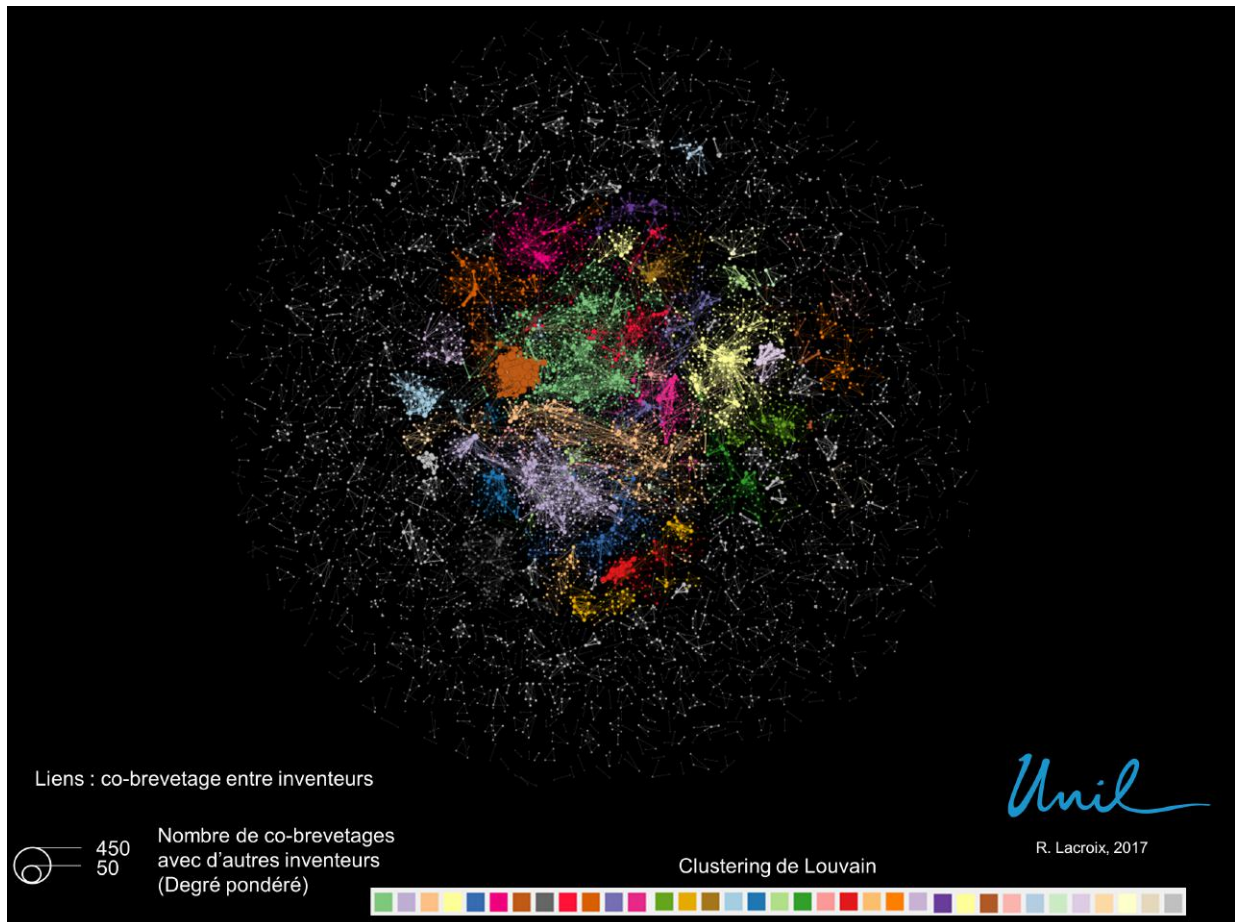
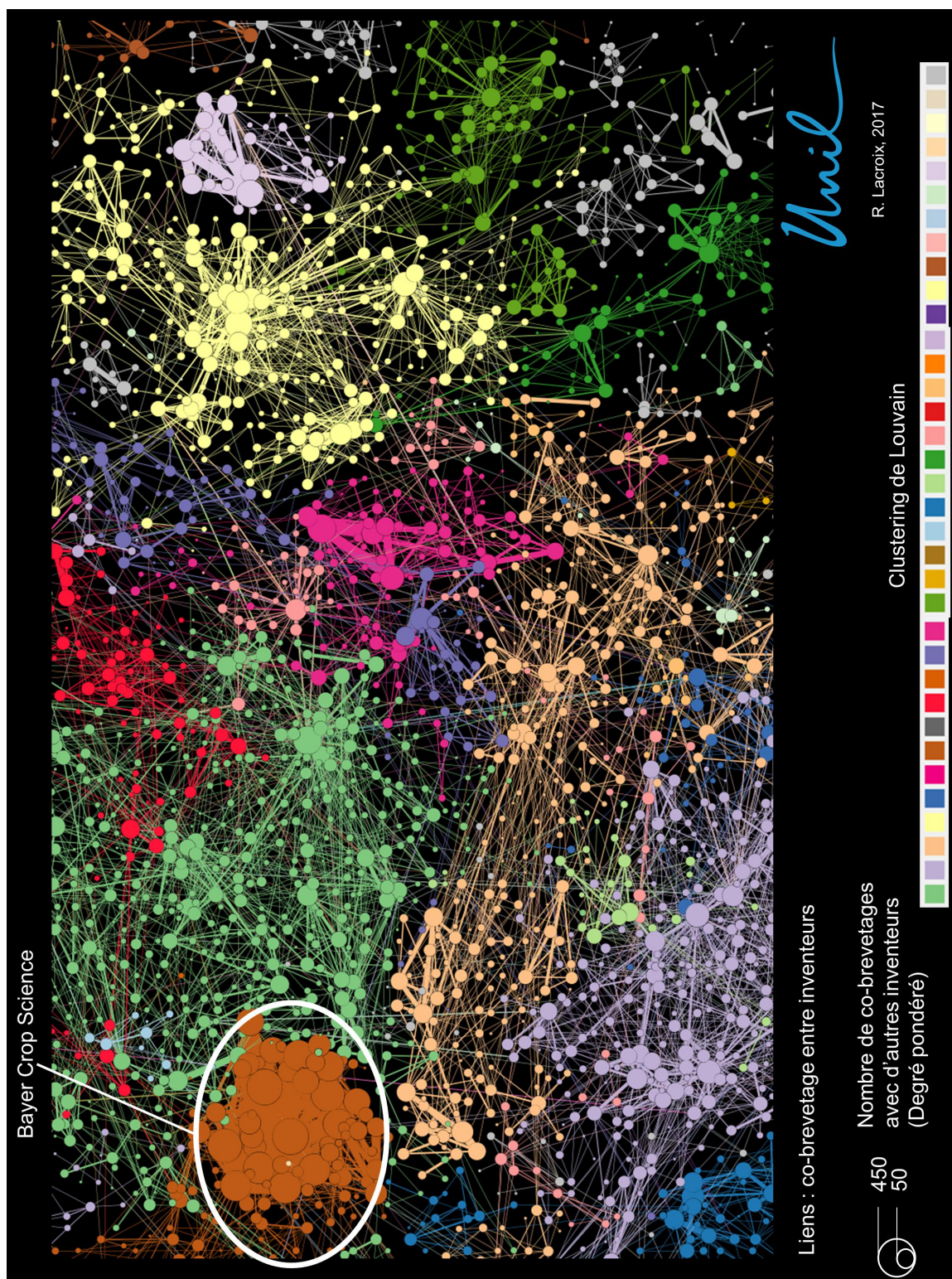


FIGURE 4.16 – Communautés de Louvain dans le réseau social des inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise (1978-2017) - zoom

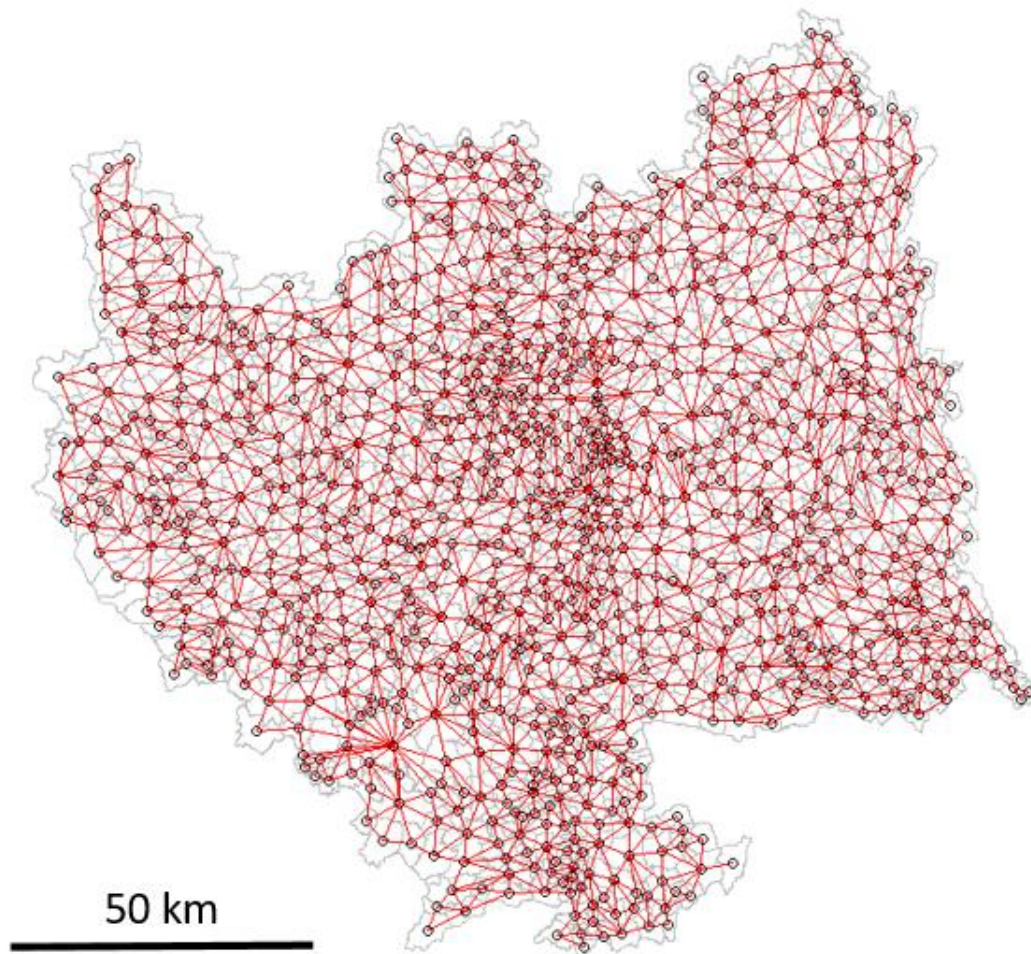


4.1.4 Proximité géographique

La définition de cette dimension de proximité diffère légèrement entre les auteurs. Certaines études définissent le niveau de proximité géographique comme la distance géographique absolue qui sépare les acteurs, tandis que d'autres utilisent la distance par rapport aux moyens de transport (temps de déplacement) ou la perception de ces distances par les acteurs. Des différences existent également en ce qui concerne l'échelle à laquelle la proximité géographique est définie. Certaines études portent sur la distance entre deux acteurs, tandis que d'autres observent la présence des acteurs dans une unité géographique entre lesquelles ils calculent la distance. Néanmoins, ces définitions de la proximité géographique sont tout à fait similaires et utilisent le même mécanisme sous-jacent pour expliquer l'importance de la proximité géographique.

L'importance de la proximité géographique réside dans le fait que les faibles distances géographiques facilitent les interactions en face à face (planifiées et sévères) et favorisent donc le transfert de connaissances et l'innovation. Le raisonnement principal derrière ces effets est que les courtes distances géographiques rassemblent les organisations, favorisent l'interaction avec un haut niveau de richesse d'information et facilitent l'échange de connaissances notamment tacite entre les acteurs (Torre et Gilly, 2000). Plus la distance entre les acteurs est grande, plus il est difficile de transférer ces formes tacites de connaissances. Pour mesurer cette proximité géographique, on a recours ici à la mesure de la distance en kilomètres entre les centroïdes des communes de l'aire métropolitaine lyonnaise dans lesquelles sont implantés les inventeurs ou les organisations (Fig.4.17). Cette mesure est préférée à une matrice de contiguïté (voisinage d'une commune à l'autre), car elle permet de considérer toutes les interactions potentielles entre les communes considérées afin que les retombées ne se limitent pas aux communes qui partagent une frontière. La distance spatiale médiane entre les communes de l'aire métropolitaine lyonnaise est de 57.7 km, allant des distances de 1 km entre certains arrondissements lyonnais à 166 km entre les communes de Saint-Martin-d'Estréaux (Loire) et Saint-Albin-de-Vaulserre (Isère).

FIGURE 4.17 – Adjacence des communes dans l'aire métropolitaine lyonnaise -
voisinage de type "reine"



4.2 Collaborations et positions des acteurs et organisations et du territoire dans les contextes locaux et globaux

Les réseaux de proximités ayant été définis, une analyse de leurs structures, c'est-à-dire de l'organisation des nœuds et des liens, est nécessaire afin de mieux comprendre leurs caractéristiques. Dans ce cas précis, une analyse des liens renvoie à l'idée des collaborations et des échanges entre technologies, acteurs ou territoires, tandis qu'une analyse des nœuds renvoie aux positions et attributs particuliers que ces technologies, acteurs ou territoires occupent.

4.2.1 Collaborations

4.2.1.a Collaborations dans l'espace technologique

Parmi les cooccurrences de sections technologiques les plus volumineuses dans l'aire métropolitaine lyonnaise (Tab.4.3), on trouve des groupes IPC de ces sections A, B et C, respectivement les nécessités courantes de la vie, les techniques industrielles et transports et la chimie.

Une analyse importante découlant de cette étude des liens dans le réseau technologique est celle de la *related variety*. Suivant les arguments des théories de l'innovation par la combinaison de connaissances, il est attendu que la *related variety* sur un territoire améliore le potentiel d'innovation puisque les technologies reliées sont plus facilement combinées en une nouvelle technologie. Il est également attendu que l'*unrelated variety* influence favorablement l'apparition de percées technologiques puisque l'innovation radicale émerge souvent de technologies précédemment non reliées ouvrant de nouvelles fonctionnalités et champs d'application.

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Tableau 4.5 – Les quinze premiers liens de proximité technologique dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Code	Code	Technologie	Technologie	Nombre de liens
A61K039	C07K014	Préparations médicinales contenant des antigènes ou des anticorps	Peptides ayant plus de 20 amino-acides; Gastrines; Somatostatines; Mélanotropines; Leurs dérivés	1624
C07K014	C12N015	Peptides ayant plus de 20 amino-acides; Gastrines; Somatostatines; Mélanotropines; Leurs dérivés	Génie génétique	1405
A61K039	C12N015	Préparations médicinales contenant des antigènes ou des anticorps	Génie génétique	1142
A61K039	A61P031	Préparations médicinales contenant des antigènes ou des anticorps	Agents anti-infectieux, c. à d. antibiotiques, antiseptiques, chimiothérapeutiques	870
A61K008	A61Q001	Cosmétiques ou préparations similaires pour la toilette	Préparations pour le maquillage ; Poudres corporelles ; Préparations pour le démaquillage	810
A61K008	A61Q019	Cosmétiques ou préparations similaires pour la toilette	Préparations pour les soins de la peau	772
A61K009	A61K047	Préparations médicinales caractérisées par un aspect particulier	Préparations médicinales caractérisées par les ingrédients non actifs utilisés, p.ex. les supports ou les additifs inertes	696
A61K008	A61Q005	Cosmétiques ou préparations similaires pour la toilette	Préparations pour les soins des cheveux	567
C07K014	A61P031	Peptides ayant plus de 20 amino-acides; Gastrines; Somatostatines; Mélanotropines; Leurs dérivés	Agents anti-infectieux, c. à d. antibiotiques, antiseptiques, chimiothérapeutiques	565
C08K005	C08L083	Emploi d'ingrédients organiques comme adjuvants de substances non macromoléculaires inorganiques ou organiques	Compositions contenant des composés macromoléculaires obtenus par des réactions créant dans la chaîne principale de la macromolécule une liaison contenant uniquement du silicium, avec ou sans soufre, azote, oxygène ou carbone ; Compositions contenant des dérivés de tels polymères	558
A01N043	A01N047	Biocides, produits repoussant ou attirant les animaux nuisibles, ou régulateurs de croissance des végétaux, contenant des composés hétérocycliques	Biocides, produits repoussant ou attirant les animaux nuisibles, ou régulateurs de croissance des végétaux contenant des composés organiques comportant un atome de carbone ne faisant pas partie d'un cycle et ne comportant pas de liaison à un atome de carbone ou d'hydrogène, p.ex. dérivés de l'acide carbonique	547
A61K009	A61K031	Préparations médicinales caractérisées par un aspect particulier	Préparations médicinales contenant des ingrédients actifs organiques	526
C07C045	C07C049	Préparation de composés comportant des groupes C=O liés uniquement à des atomes de carbone ou d'hydrogène ; Préparation des chélates de ces composés	Cétones ; Cétènes ; Dimères de cétène; Chélates de cétone	518
B01J037	B01J023	Procédés de préparation des catalyseurs, en général ; Procédés d'activation des catalyseurs, en général	Catalyseurs contenant des métaux, oxydes ou hydroxydes métalliques non prévus dans le groupe B01J 21/00	510
A61K008	A61K047	Cosmétiques ou préparations similaires pour la toilette	Préparations médicinales caractérisées par les ingrédients non actifs utilisés, p.ex. les supports ou les additifs inertes	504

À cet égard, nous prenons une méthodologie inspirée par Sedita *et al.* (2016) et Castaldi *et al.* (2015) et à partir des brevets et de leurs codes IPC, est proposée la classification suivante :

- Si les technologies sont de sections différentes, on parle d'*unrelated variety* ;
- Si les technologies sont de mêmes sections, mais de classes différentes, on parle de *semi-related variety*
- Si les technologies sont de mêmes sections et de mêmes classes, on parle de *related variety*

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Appliquant cette méthodologie sur notre réseau de proximité technologique, on compare ainsi les paires (dyades) de technologies liées par cooccurrence sur un brevet et est attribuée la variété correspondante (Tab. 4.6).

Tableau 4.6 – Proportion du type de variété dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Type de variété	Nombre de liens	%
<i>Related variety</i>	114 143	50
<i>Semi-related variety</i>	27 515	12
<i>Unrelated variety</i>	85 969	38
Total général	227 627	100

Sur les 227 627 dyades de technologies liées par la cooccurrence sur les brevets, on s'aperçoit que la *related variety* domine. En effet, au sein des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, environ 50% des cooccurrences de technologies présentent une classe IPC identique ce qui les catégorisent comme des liens pouvant être qualifiés de *related variety*. Ainsi, au sein des brevets, on a une plus large proportion de technologies apparentées et une plus faible proportion de technologies non apparentées. Cela signifie que les technologies apparentées sont les plus reliées dans notre réseau de proximité technologique. On note cependant que près de 40% des liens sont effectués entre des technologies non apparentées.

Ce réseau de proximité technologique ne permet toutefois pas de juger de la recombinaison de connaissances apparentées ou non.

À cet effet, nous avons utilisé les citations entre brevets caractérisés technologiquement pour qualifier cette recombinaison. Chaque brevet citant et étant cité par un ou plusieurs autres brevets, permet de construire une matrice de liens technologiques basés sur ces citations. On a alors séparé trois types de citations par leur géographie : les citations de l'aire métropolitaine lyonnaise (AML dans le tableau) vers le reste du monde, les citations du monde vers l'aire métropolitaine lyonnaise et les citations des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise vers d'autres brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise (Tab.4.7).

Tableau 4.7 – Proportion du type de variété en fonction des citations échangées par l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Type de relation	AML vers monde		Monde vers AML		AML vers AML	
	Nombre de liens	%	Nombre de liens	%	Nombre de liens	%
<i>Technologies identiques</i>	787 922	9.1	476 365	14.2	3 153	12
<i>Related variety</i>	1 392 124	16	535 333	16.1	4 957	19
<i>Semi-related variety</i>	1 327 012	15.3	804 109	24.2	7 813	29
<i>Unrelated variety</i>	5 185 303	59.6	1 513 887	45.5	10 693	40
Total	8 692 361	100	3 329 694	100	26 616	100

On observe 11 200 citations effectuées par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise vers d'autres brevets du monde. Cela représente 8 692 361 liens technologiques. Ici, près de 60% des liens peuvent être qualifiés d'*unrelated variety*. On peut l'expliquer par le besoin des innovateurs d'obtenir une recombinaison de technologies précises et non apparentées afin de maximiser leurs potentiels de produire une innovation radicale. Et si cette technologie n'existe pas dans l'aire métropolitaine lyonnaise, ils doivent alors la trouver ailleurs, ce qui explique que c'est dans ce cas de figure que le ratio d'*unrelated variety* est le plus important et que les technologies identiques soient les moins fréquentes en raison de la maîtrise de celles-ci par l'innovateur ou par un partenaire local.

À l'inverse, les brevets du monde citant les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise (8 703 citations représentant 3 329 694 liens technologiques) présentent le ratio de technologies identiques le plus important, de l'ordre de 14.2%. On pourrait émettre l'hypothèse explicative qu'il s'agisse de la citation de certains savoir-faire particulièrement pointus au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise pour lesquels il n'y a ou il n'y avait pas d'équivalent dans le monde. Et en effet, après observation nous avons pu constater qu'il s'agissait de technologies de pointe comme les vaccinations ou l'ingénierie génétique. Nous y revenons plus précisément un peu plus bas.

Enfin, parmi les citations internes à l'aire métropolitaine lyonnaise (1 836 citations représentant 26 616 liens technologiques), on retrouve le plus fort taux de *related variety* (19%). Cela pourrait être le signe d'une bonne coopération technologique locale au sein de *clusters* technologiques (pôles de compétitivité par exemple), mais l'*unrelated variety* reste toujours majoritaire.

Afin de vérifier les technologies rayonnantes mondialement implantées à Lyon, on a alors comparé les citations reçues des technologies de l'aire métropolitaine lyonnaise avec les citations que mêmes ces technologies reçoivent globalement, le nombre de citations reçues étant généralement un indicateur prisé de la qualité du brevet. De cette façon, on obtient un quotient de localisation des technologies de l'aire métropolitaine lyonnaise les plus influentes. Un quotient de 1 signifie qu'une technologie de l'aire métropolitaine lyonnaise est autant citée que la même technologie, mais à l'échelle du monde. Si ce quotient est supérieur à 1, cela signifie que la technologie de l'aire métropolitaine lyonnaise est davantage citée que la même technologie à l'échelle du monde. On a répertorié les quotients de localisation des technologies ayant été citées plus de 30 fois (afin d'éviter l'effet de petite taille sur les fréquences) et de quotient de localisation supérieur à 2 (Tab.4.8).

On s'aperçoit tout d'abord que parmi les technologies principales observées sur le réseau de proximité technologique, peu subsistent dans ce tableau. Par exemple, les vaccins (A61K039) n'ont qu'un quotient de localisation de 1.12 tandis que celui du génie génétique (C12N015) est de 0.79 et celui des cosmétiques (A61K008) de 0.59. Cela ne signifie nullement la médiocrité des recherches prodiguées dans ces domaines au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise, mais comparativement à d'autres territoires, la qualité des brevets déposés reste faible au regard du nombre de citations. Un paramètre à également considérer est la limitation de la base de données aux brevets de l'Office européen des Brevets. Si beaucoup de brevets sont aujourd'hui enregistrés auprès de nombreuses agences, un certain nombre se limitent à l'USPTO, l'agence américaine, notamment pour la pharmacie et les biotechnologies. Ainsi, les potentielles citations de brevets non déposés à l'Office européen ne sont pas incluses.

À l'inverse, certaines technologies plus « discrètes » émergent lors de ce type de traitement. Ainsi en va-t-il des interrupteurs haute tension (H01H033), des secteurs pétrochimique (C07C) et nucléaire (G21), des fers à repasser (D06F075) ou encore des frisoirs à cheveux (A45D001/2). Pour ces deux dernières technologies, la principale entreprise concernée est le groupe SEB.

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Tableau 4.8 – Fréquences et quotients de localisation (QL) des technologies citées dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

IPC	Technologie	Fréquence AML	Fréquence monde	QL
A01N043	Biocides, produits repoussant ou attirant les animaux nuisibles, ou régulateurs de croissance des végétaux, contenant des composés hétérocycliques	189	39387	2.58
B01J023	Catalyseurs contenant des métaux, oxydes ou hydroxydes métalliques non prévus dans le groupe B01J 21/00	178	24634	3.89
C07B061	Procédés généraux de chimie organique	130	12865	5.44
H01H033	Interrupteurs pour haute tension ou courant fort comportant des moyens d'extinction ou de prévention des arcs	125	3738	18.01
C07C045	Préparation de composés comportant des groupes C=O liés uniquement à des atomes de carbone ou d'hydrogène ; Préparation des chélates de ces composés	119	13242	4.84
C10G045	Raffinage des huiles d'hydrocarbures au moyen d'hydrogène ou de composés donneurs d'hydrogène	111	2419	24.71
A01N057	Biocides, produits repoussant ou attirant les animaux nuisibles, ou régulateurs de croissance des végétaux, contenant des composés organiques du phosphore	106	2992	19.08
C08L083	Compositions contenant des composés macromoléculaires obtenus par des réactions créant dans la chaîne principale de la macromolécule une liaison contenant uniquement du silicium, avec ou sans soufre, azote, oxygène ou carbone ; Compositions contenant des dérivés de tels polymères	103	17040	3.26
C10L001	Combustibles carbonés liquides (carburants)	98	12747	4.14
A01P003	Fongicides	95	1132	45.2
B01J031	Catalyseurs contenant des hydrures, des complexes de coordination ou des composés organiques	94	12389	4.09
B01J027	Catalyseurs contenant les éléments halogènes, soufre, sélénium, tellure, phosphore ou azote ou leurs composés ; Catalyseurs contenant des composés du carbone	92	8850	5.6
C08G077	Composés macromoléculaires obtenus par des réactions créant dans la chaîne principale de la macromolécule une liaison contenant du silicium, avec ou sans soufre, azote, oxygène ou carbone	86	14003	3.31
A61M001	Dispositifs de succion ou de pompage à usage médical ; Dispositifs pour retirer, traiter ou transporter les liquides du corps ; Systèmes de drainage	82	9455	4.67
B01J029	Catalyseurs contenant des tamis moléculaires	76	11713	3.49
C07C049	Cétones ; Cétènes ; Dimères de cétène ; Chélates de cétone	73	7743	5.08
C08F 22	Homopolymères ou copolymères de composés contenant un ou plusieurs radicaux aliphatiques non saturés, chaque radical ne contenant qu'une seule liaison double carbone-carbone, l'un au moins étant terminé par un radical carboxyle et contenant au moins un autre radical carboxyle dans la molécule ; Leurs sels, anhydrides, esters, amides, imides ou nitriles	69	12481	2.98
D03C003	Mécaniques Jacquard	67	589	61.26
B01J037	Procédés de préparation des catalyseurs, en général ; Procédés d'activation des catalyseurs, en général	63	6872	4.94
C07C017	Préparation d'hydrocarbures halogénés	59	5019	6.33
G21C003	Éléments combustibles pour réacteur nucléaire ou leurs assemblages ; Emploi de substances spécifiées pour utilisation comme éléments combustibles pour réacteurs	57	2328	13.19
D06F075	Fers à repasser à main	50	709	37.98
C01B033	Silicium ; Ses composés	48	4761	5.43
A23K001	Nourriture pour animaux	47	6084	4.16
C10G065	Traitement des huiles d'hydrocarbures, uniquement par plusieurs procédés d'hydrotraitement	43	842	27.5
C07C051	Préparation d'acides carboxyliques, de leurs sels, halogénures ou anhydrides	43	8383	2.76
A45D001	Frisoirs, c. à d. pinces à utiliser très chaudes ; Fers à friser et leurs accessoires	40	340	63.36
C01B003	Hydrogène ; Mélanges gazeux contenant de l'hydrogène ; Séparation de l'hydrogène à partir de mélanges en contenant ; Purification de l'hydrogène	40	5358	4.02
C07C019	Composés acycliques saturés contenant des atomes d'halogène	38	1215	16.84
C09D018	Compositions de revêtement, p.ex. peintures, vernis ou vernis-laques ; apprêts en pâte ; produits chimiques pour enlever la peinture ou l'encre ; encres ; correcteurs liquides ; colorants pour bois ; produits solides ou pâteux pour coloriage ou impression ; emploi de matériaux à cet effet	38	5911	3.46
B01J008	Procédés chimiques ou physiques en général, conduits en présence de fluides et de particules solides ; Appareillage pour de tels procédés	38	7034	2.91
C09C001	Traitement de substances inorganiques particulières, autres que des charges fibreuses ; Préparation du noir de carbone	38	7057	2.9
A45D002	Outils pour boucler ou onduler les cheveux	36	240	80.78
C07C041	Préparation d'éthers	33	4291	4.14
D21H019	Papier couché ; Matériaux de couchage	31	3601	4.64

4.2.1.b Collaborations dans l'espace organisationnel

L'analyse des liens dans l'espace organisationnel peut facilement être comprise dans le cadre du co-brevetage. On parle ici de co-brevetage lorsque plusieurs organisations participent conjointement au développement d'un brevet et en sont toutes les titulaires.

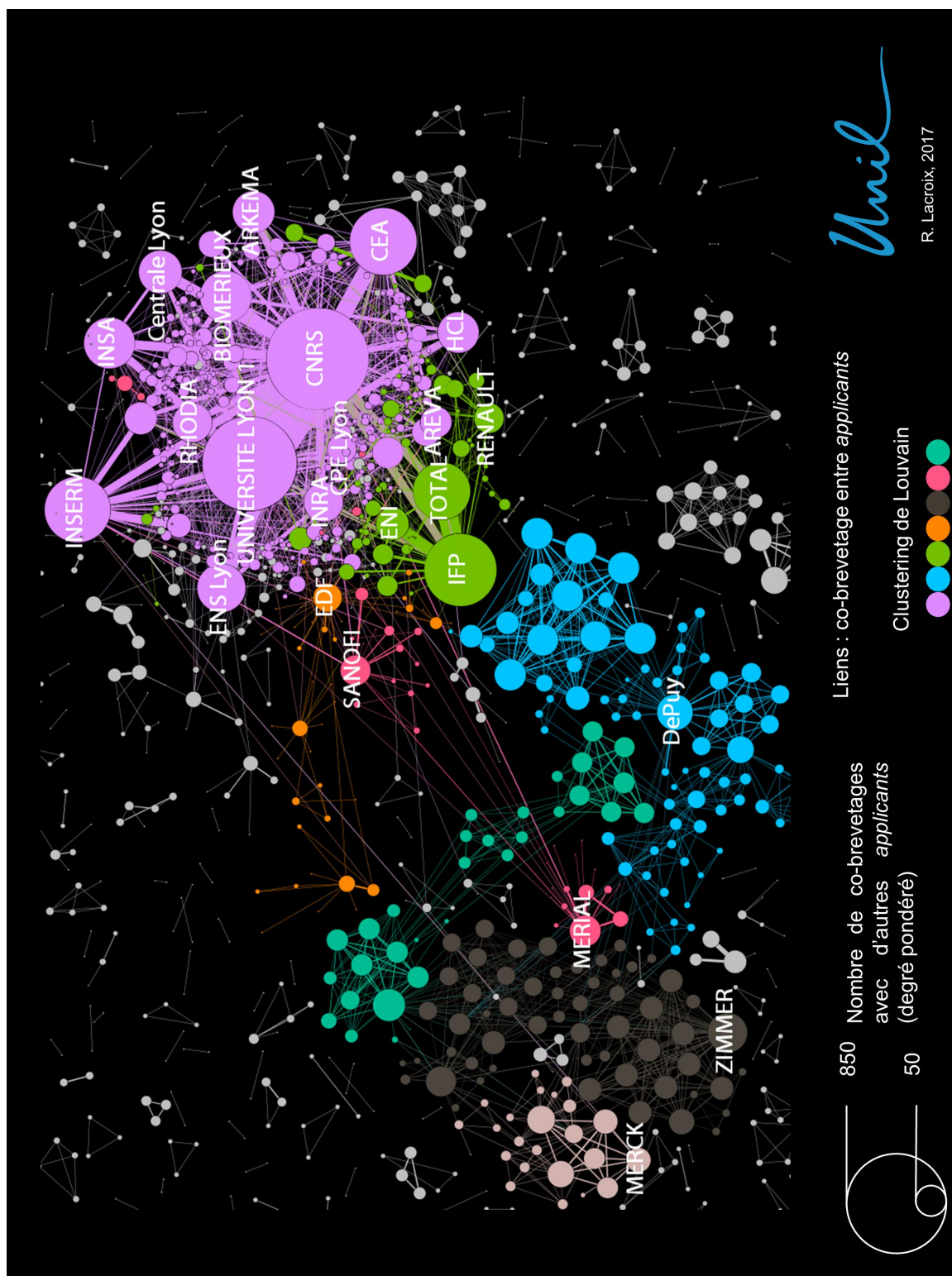
On construit alors facilement une matrice de cooccurrence des *applicants* sur un même brevet afin d'obtenir ces co-brevetages. De là, on obtient alors le réseau de co-brevetage sur la figure 4.18 dont les nœuds sont de grosseurs proportionnelles à leur nombre de co-brevetages (degré pondéré). Ce réseau comporte 1 772 nœuds correspondants aux *applicants* de l'AML ayant cobrevetés, 2 827 liens non dirigés et valués représentant 4 851 cobrevetages.

On observe sensiblement la même structure que sur le réseau de mobilité professionnelle (Fig. 4.10) avec une grande composante rassemblant ici 45.15% des nœuds, 70.64% des liens et 78.09% des co-brevetages. Comme on peut également l'observer dans le tableau 4.9, la part des institutions publiques reste importante dans le co-brevetage.

Tableau 4.9 – Liens de co-brevetage les plus importants dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Organisation	Organisation	Co-brevets
Université Lyon 1 Claude Bernard	Centre National de la Recherche Scientifique	186
TOTAL	IFP	57
Centre National de la Recherche Scientifique	COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE	50
Centre National de la Recherche Scientifique	Ecole Normale Supérieure de Lyon	39
ENI	IFP	34
École Centrale de Lyon	Centre National de la Recherche Scientifique	32
INSA Lyon	Centre National de la Recherche Scientifique	27
TECHNOMED MEDICAL SYSTEMS	INSERM	25
Centre National de la Recherche Scientifique	TOTAL	25
INSA Lyon	Université Lyon 1 Claude Bernard	24
Centre National de la Recherche Scientifique	IFP	24
ARKEMA	Centre National de la Recherche Scientifique	23
Centre National de la Recherche Scientifique	INSERM	23
Université Lyon 1 Claude Bernard	Hospices Civils de Lyon	21
Université Lyon 1 Claude Bernard	INSERM	20

FIGURE 4.18 – Réseau de co-brevetages entre organisations de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Les liens de cobrevetage entre institutions publiques paraissent alors être les plus nombreux. Ainsi, les universités, le CNRS, les écoles (ENS, Centrale, CPE, INSA) ou les instituts de recherche publics sont fortement liés entre eux. Certes, les collaborations les plus intenses sont principalement entre partenaires publics, mais en termes de proportions, les collaborations les plus nombreuses sont cependant le fait des acteurs privés, représentant 97.7% des acteurs (Tab. 4.10).

Tableau 4.10 – Proportion de type de partenariat de cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Type de cobrevetage	Nombre de co-brevets	%
Public-Public	847	17
Public-Privé	1 059	22
Privé-Privé	2 945	61
Total général	4 851	1

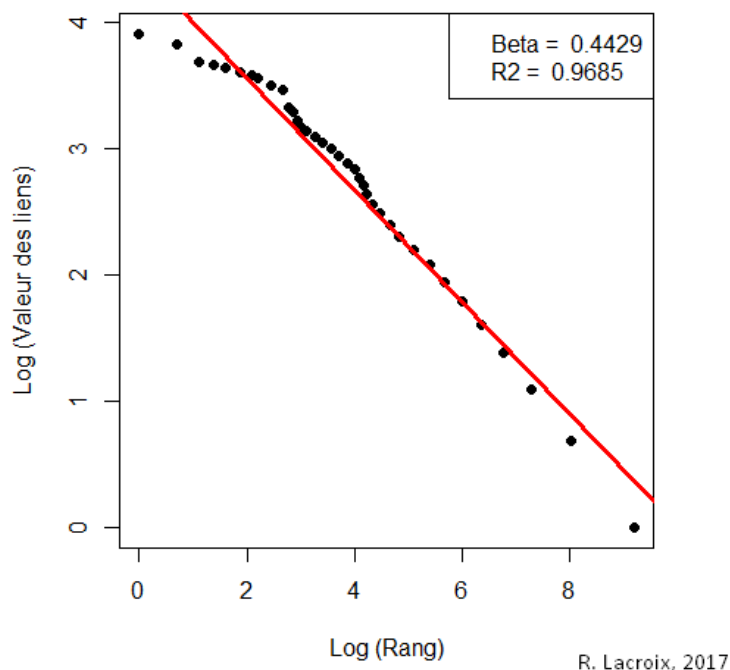
4.2.1.c Collaborations dans l'espace social

L'analyse des collaborations dans l'espace social revient ici à étudier les liens dans le réseau de co-brevetage cette fois-ci au niveau des inventeurs, soit les co-inventions qui déterminent ici la proximité sociale.

Les travaux de Partha et David (1994) suggèrent que les acteurs privés sont plus enclins à décourager leurs employés d'échanger de la connaissance, « propriété de l'entreprise », avec des employés d'autres organisations. À cet effet, on supposerait alors que le principal motif de coopération entre les inventeurs se situe dans l'appartenance à une même organisation.

Testant cela pour notre réseau de proximité sociale basée sur la co-invention, on s'aperçoit à l'inverse que 84% des coopérations entre inventeurs se font avec des inventeurs d'*applicants* différents. Il est alors possible de dire que la proximité sociale ne paraît être que faiblement influencée par la proximité organisationnelle. Poursuivant les facteurs qui pourraient également affecter cette proximité sociale, on s'intéresse aussi au facteur géographique. Nous comparons à cet effet les communes de résidence entre inventeurs liés. Il apparaît ici que près de 94% des inventeurs liés résident dans des communes différentes. Le facteur géographique ne paraît donc lui aussi pas influencer fortement sur le réseau social.

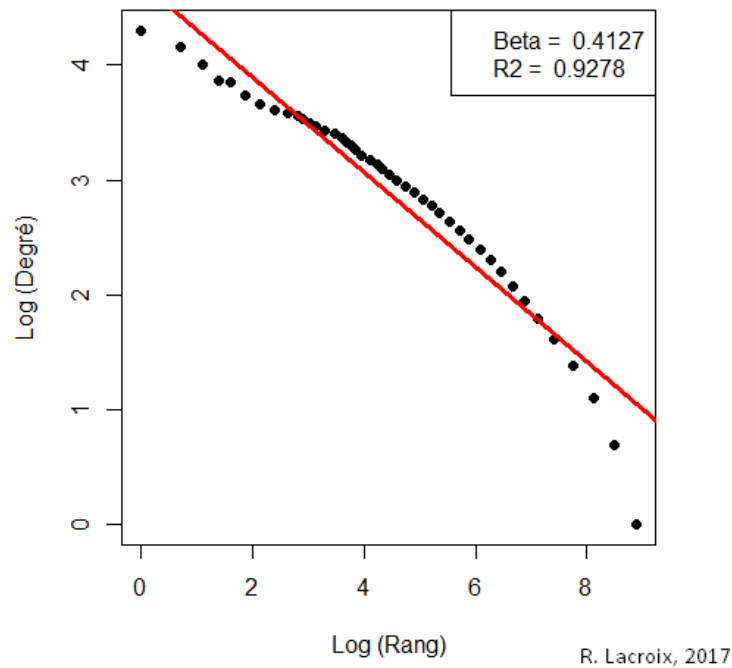
La distribution hiérarchique des valeurs des liens (Fig. 4.19), révèle une distribution très égalitaire du nombre de co-brevetages avec un β de 0.44. On a donc peu d'inventeurs se distinguant des autres.

FIGURE 4.19 – Distribution du nombre de liens entre inventeurs dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Cela peut s'interpréter par cet effet de communautés évoqué précédemment où les inventeurs brevètent beaucoup entre communautés et peu en dehors de celles-ci. Avec 4 597 communautés identifiées pour 11 852 inventeurs, cela fait donc une communauté moyenne de 2.6 inventeurs. La plus grande communauté comporte 544 inventeurs et rassemble des inventeurs travaillant pour les universités, le CNRS et les laboratoires de l'Institut Français du Pétrole, de Total, Eni ou Agip.

Ce réseau étant social par nature, on va également chercher à le caractériser. L'étude de son caractère de petit-monde est tout d'abord réalisée. Cela nous permettra ainsi de voir si au sein des communautés, certains inventeurs sont dominants, agissant comme des *hubs* de connaissances. La mesure du degré pondéré moyen est de 4.35 et les degrés suivent la distribution représentée sur la Figure 4.20. La hiérarchie est très faible (paramètre β de 0.41), ce qui signifie ici aussi une certaine équivalence structurelle entre les inventeurs, liés en moyenne 4.35 fois à d'autres inventeurs.

FIGURE 4.20 – Distribution hiérarchique des degrés dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Le coefficient de clustering global correspond ici à la probabilité que deux inventeurs ayant breveté avec un troisième aient également breveté ensemble. Aussi, plus ce coefficient est élevé, plus le clustering du réseau est important. Ici, nous trouvons un coefficient de 0.713, ce qui signifie que deux inventeurs tous les deux liés à un troisième ont 71.3% de chances d'être également liés, ce qui est important pour un réseau social, les valeurs entre 0.3 et 0.6 étant assez fréquentes (Snijders, 2008).

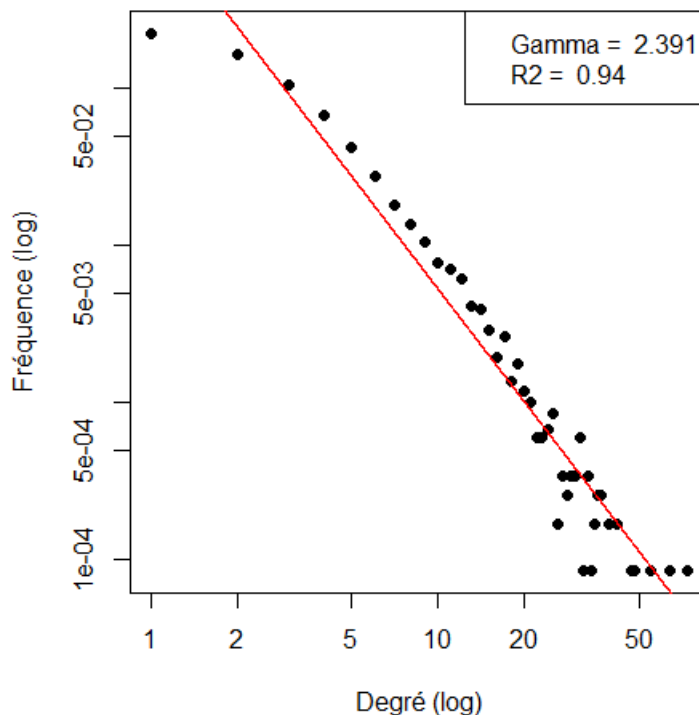
La moyenne des plus courts chemins entre deux inventeurs est de 8.97, ce qui signifie qu'en moyenne, en partant d'un inventeur, 8.97 bonds sur le réseau social sont nécessaires pour arriver à un autre inventeur. Ces presque 9 degrés d'écart entre deux inventeurs sont une donnée importante. En effet, il a été montré que les réseaux sociaux et notamment les réseaux de collaboration scientifique montraient une moyenne des plus courts chemins plutôt de l'ordre de 6 degrés de séparation (Travers & Milgram, 1967 ; Watts & Strogatz, 1998). Aussi, cette distance moyenne étant plus grande, on est dans le cas où la connaissance dans le réseau social circule moins facilement.

Reprenant ici aussi la méthodologie de Humphries et Gurney (2009), on regarde si le réseau est caractérisé par une moyenne des plus courts chemins supérieure ou égale à celui d'un graphe aléatoire de mêmes paramètres, et s'il possède un coefficient de clustering global bien supérieur à celui du même graphe aléatoire avec σ faisant le rapport entre ces deux éléments. Nous prenons alors une centaine de graphes aléatoires de 11 852 nœuds et

15 513 liens. Ceux-ci ont une moyenne des plus courts chemins de 9.544, et un coefficient de clustering de 0.0002276. Cela nous donne un $\sigma = (0.713/0.0002276) / (8.97/9.544) = 3332$, ce qui est très largement supérieur à 1. On peut donc affirmer qu'il s'agit d'un réseau petit-monde, cependant, les petits mondes en question seraient plus hermétiques entre eux que d'ordinaire dans les réseaux sociaux, la moyenne des plus courts chemins étant supérieure à la moyenne des réseaux sociaux et surtout supérieure à celle d'un graphe aléatoire équivalent.

On peut également caractériser ce réseau d'invariant d'échelle. En effet, le réseau est dit invariant d'échelle si, la distribution des degrés suit l'équation $P(k) \sim k^{-\gamma}$, où $P(k)$ désigne la fréquence et k le degré, γ étant généralement compris entre 2 et 3 quand le phénomène d'attachement préférentiel est puissant (Barabasi & Albert, 1999). Ici, quand on ajuste la distribution des degrés avec une loi de puissance (Fig. 4.21), on trouve un γ égal à 2.391 avec un R2 de 0.94, ce qui signifie qu'il s'agit bien d'un réseau invariant d'échelle, avec un attachement préférentiel du même ordre que dans la plupart des réseaux sociaux.

FIGURE 4.21 – Ajustement des degrés par une loi de puissance dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



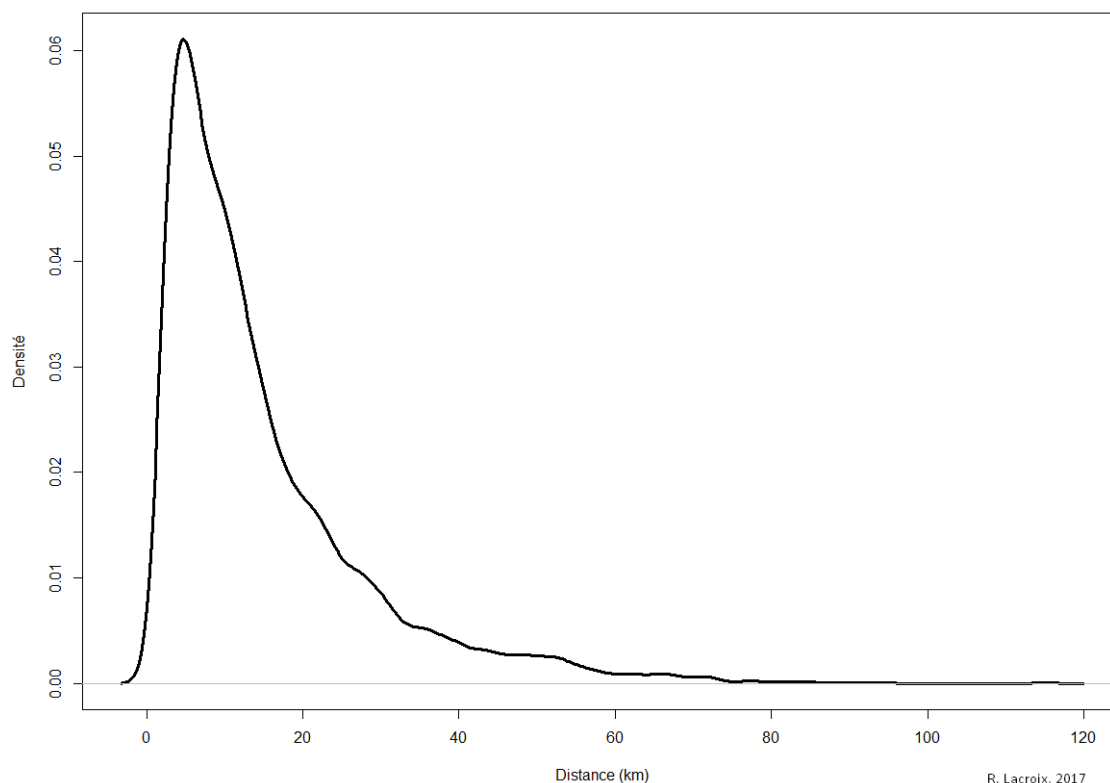
4.2.1.d Collaborations dans l'espace géographique

La co-invention ou le co-brevetage est un processus impliquant à la fois des échanges de connaissances tacites et codifiées. Pour cette raison, cela implique des relations à la fois en face à face et à distance entre les inventeurs.

Les brevets étant définis géographiquement au niveau des inventeurs, on s'intéressera ici aux distances entre inventeurs participant à un même brevet. Pour cela, nous prenons notre matrice des distances entre communes et y attribuons pour chaque cobrevet nos inventeurs localisés. De cette façon, nous obtenons la spatialisation des cobrevets dans l'aire métropolitaine lyonnaise et nous pouvons calculer la distance entre les inventeurs d'un même brevet.

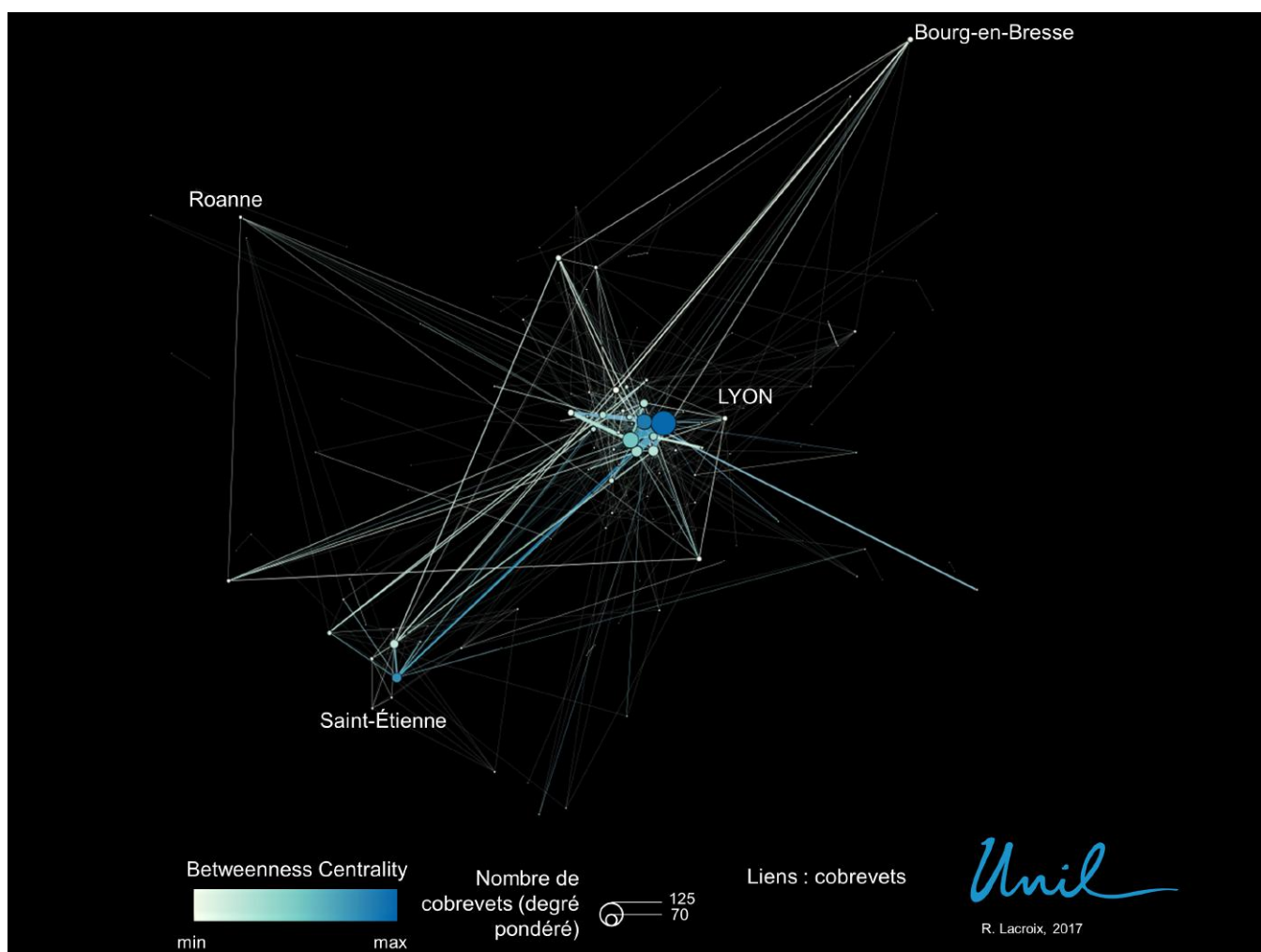
La distance moyenne mesurée entre deux inventeurs d'un même brevet est de 14.9 km. Ces distances suivent la distribution représentée sur la Figure 4.22. On s'aperçoit alors qu'au sein des inventeurs localisés dans l'aire métropolitaine lyonnaise, l'éloignement est rédhibitoire pour la collaboration entre deux inventeurs, ce qui tendrait à prouver que l'échange de connaissances en face à face est la caractéristique dominante des échanges de connaissances entre inventeurs.

FIGURE 4.22 – Profil de la distance entre les coinventeurs d'un brevet au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Analysant ensuite les cobrevets dans l'espace de l'aire métropolitaine lyonnaise (Fig. 4.23), on remarque une grande concentration des liens spatiaux autour de Lyon, avec toutefois quelques liaisons importantes avec des pôles secondaires, en premier lieu celui de Saint-Étienne, puis Bourg-en-Bresse et Roanne.

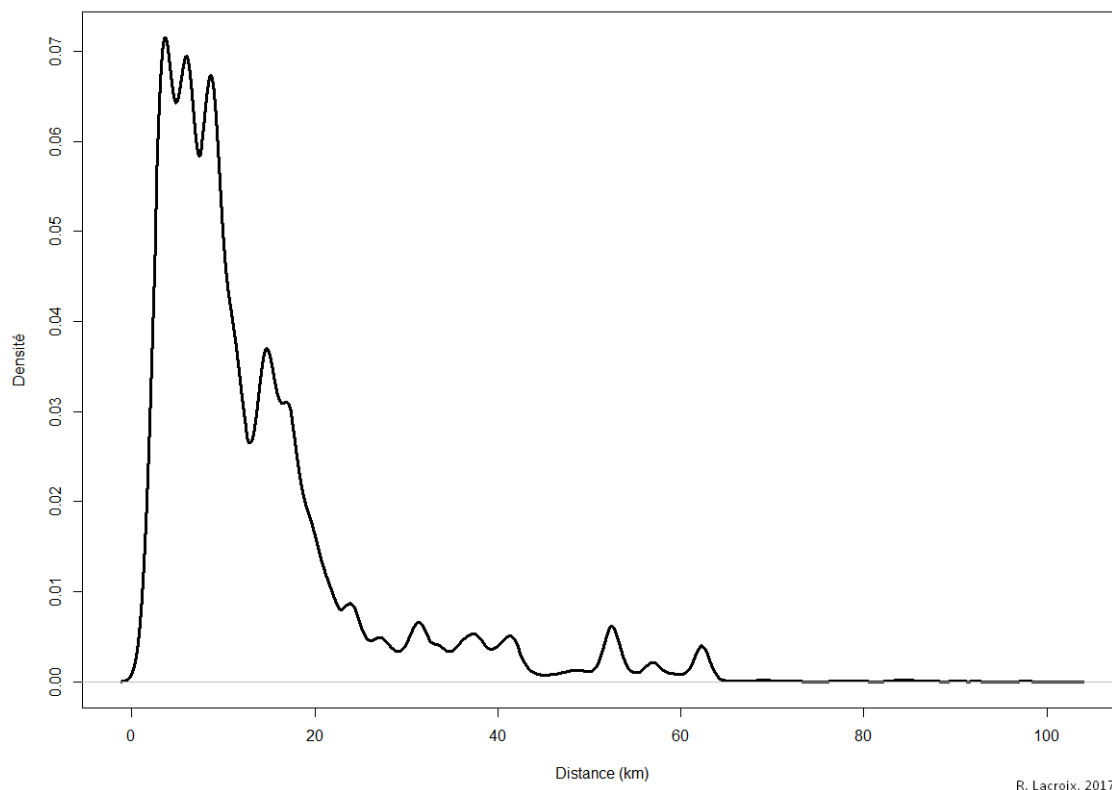
FIGURE 4.23 – Réseau géographique du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



A cet égard, on aurait également pu tester la pertinence d'une approximation par un modèle gravitaire pour vérifier que la distance géographique entrave la collaboration en matière de recherche (voir par exemple Frenken *et al.*, 2009).

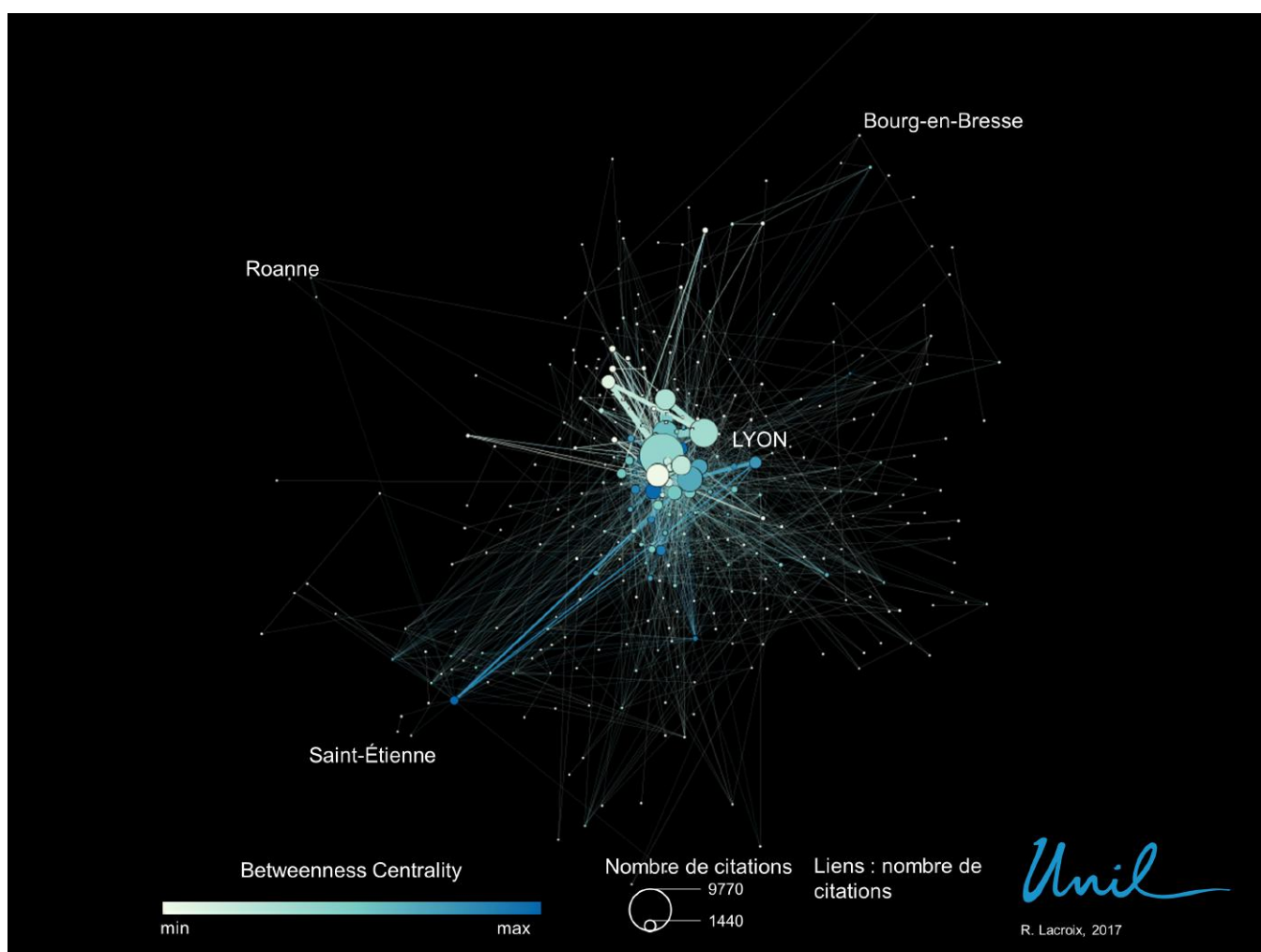
Procédant de la même façon avec les citations internes à l'aire métropolitaine lyonnaise, on trouve une distance moyenne de citation également relativement courte de 13.6 km, la distribution étant représentée sur la Figure 4.24.

FIGURE 4.24 – Profil de la distance entre inventeurs dont les brevets se citent dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Cela témoigne également d'une localisation évidente des retombées de connaissances. En effet, près de 12% des citations des brevets sont internes à l'aire métropolitaine lyonnaise et ces dernières sont de courte distance. L'observation de leur spatialité sur la figure 4.25 fait également ressortir la faiblesse des citations de longue distance, même au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise. On remarque encore une fois la prééminence lyonnaise, suivie par Saint-Étienne, mais les villes de Roanne et Bourg-en-Bresse sont ici pratiquement effacées.

FIGURE 4.25 – Réseau géographique des citations entre brevets au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Quand on regarde à présent le cobrevetage entre entreprise, mais à l'échelle globale, plusieurs enseignements ressortent (Fig. 4.26).

Tout d'abord, il faut noter que sur les 13 130 cobrevets réalisés par l'aire métropolitaine lyonnaise avec l'extérieur, 8 661 le sont avec Paris, soit près des deux tiers. On est ici typiquement dans le cas d'une relation de subordination établie sur l'aire métropolitaine lyonnaise par la capitale française. Parmi les autres principaux partenaires, on trouve Düsseldorf, Bâle, Grenoble, Genève, Francfort, New York ou Dijon. On note alors l'importance des agglomérations relativement proches de Lyon ce qui pourrait s'expliquer par le frein de la distance aux collaborations entre entreprises. Les vingt plus importantes relations de co-brevetage ont été rassemblées dans le tableau 4.11 et l'entièreté des relations représentées sur la figure 4.26.

FIGURE 4.26 – Spatialité des cobrevets réalisés à partir de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

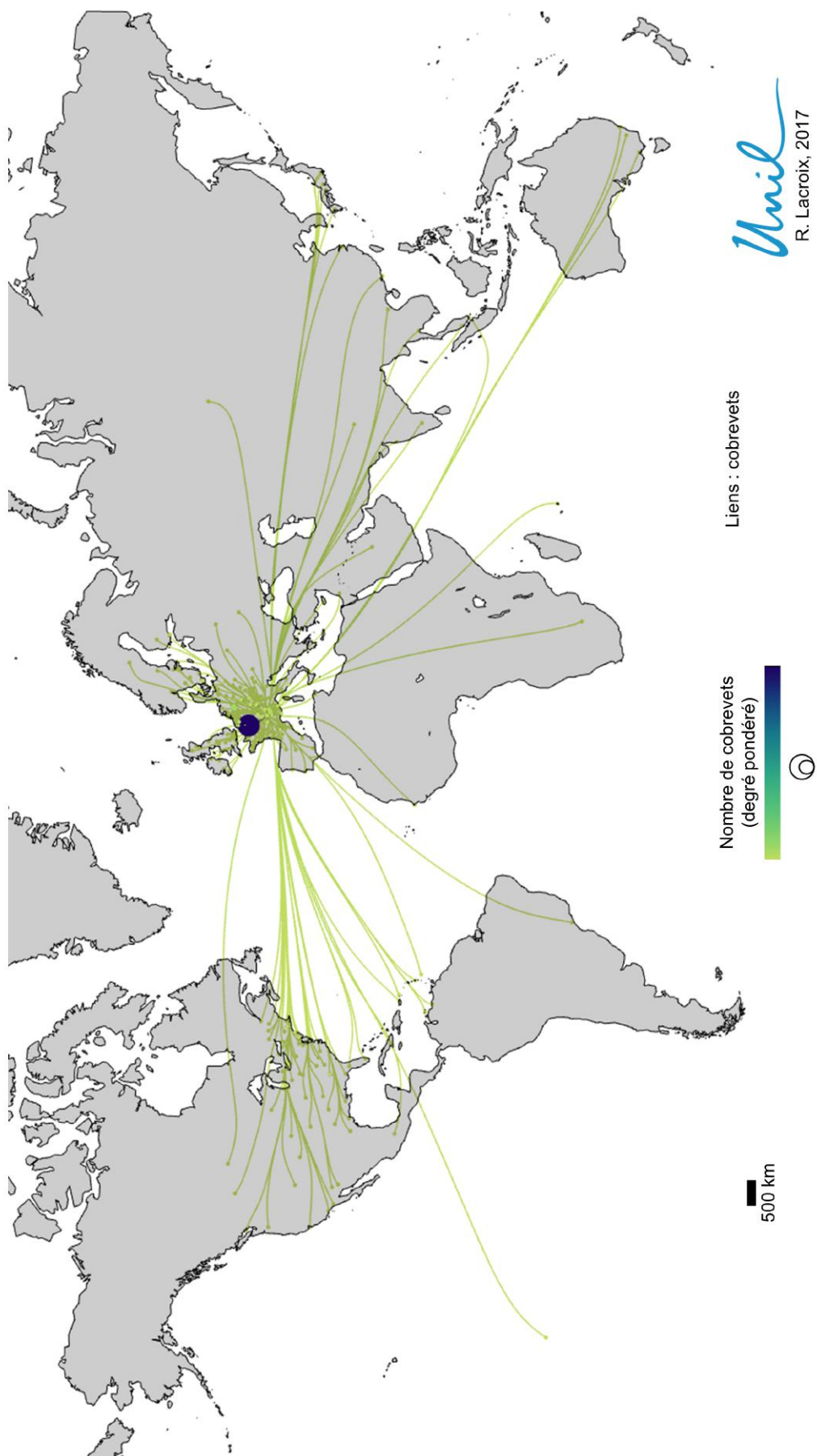


Tableau 4.11 – Principales agglomérations réalisant des cobrevets avec l'aire métropolitaine lyonnaise

Agglomération	Nombre de co-brevets
PARIS	8 661
DUSSELDORF	362
BALE	204
GRENOBLE	182
GENEVE	144
FRANKFURT	141
NEW YORK	114
DIJON	108
STUTTGART	99
PHILADELPHIA	97
LILLE	95
VALENCE	80
ATLANTA	76
MALMO	75
CLERMONT-FERRAND	71
ZURICH	70
LONDON	69
NANCY	68
HARTFORD SPRINGFIELD	67
STRASBOURG	62

Regardant à présent les citations réalisées par l'aire métropolitaine lyonnaise en direction du reste du monde, on peut alors observer où sont puisées les connaissances lyonnaises.

Le tableau 4.12 représente les 20 agglomérations dont les brevets sont les plus cités par les brevets de l'aire métropolitaine. Ce qui frappe en premier lieu, c'est donc l'influence des brevets japonais et allemands. En effet, 27.5% des citations de l'aire métropolitaine sont en direction de brevets localisés au Japon, dans les agglomérations de Tokyo, Kyoto, Osaka, Yokohama, Mito et Shizuoka principalement. De la même façon, 21.5% des citations sont réalisées en direction de l'Allemagne, principalement vers les agglomérations de Cologne, Mannheim, Düsseldorf, Berlin, Coblenze et Munich, et seulement 9.2% des citations sont réalisées en direction d'autres agglomérations françaises. La Figure 4.27 cartographie ces relations en représentant les agglomérations selon le degré entrant pondéré, c'est-à-dire la somme des citations effectuées par l'aire métropolitaine en direction de ces agglomérations.

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Tableau 4.12 – Principales agglomérations citées par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Agglomération	Nombre de citations de la part de l'AML
TOKYO	11210
COLOGNE	9155
KYOTO	7210
FRANKFURT	6716
OSAKA	6678
LONDON	6047
PARIS	5803
PHILADELPHIA	5271
BALE	5264
MANNHEIM	4876
YOKOHAMA	4339
MILANO	3060
DUSSELDORF	2893
DAEJEON	2650
MITO	2547
NEW YORK	2424
SHENYANG	2310
SHIZUOKA	1900
INDIANAPOLIS	1743
GRENOBLE	1627

On peut par le même moyen s'intéresser aux citations réalisées par les brevets du monde en direction de brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, c'est-à-dire dans ce cas l'influence ou la dépendance aux connaissances de ce territoire pour le monde. Le Tableau 4.13 décrit les 20 premières agglomérations en termes de citations reçues par l'aire métropolitaine lyonnaise. La présence des agglomérations allemandes est toujours forte (22.7% des citations reçues), de même pour les agglomérations françaises (19%) et japonaises (14%). On note toutefois une part plus importante d'agglomérations étatsuniennes (17%) que pour les citations réalisées par l'aire métropolitaine lyonnaise (10.9%).

La Figure 4.28 cartographie ces citations des agglomérations mondiales vers l'aire métropolitaine lyonnaise en prenant cette fois le degré pondéré sortant comme paramètre de taille et de couleur.

Tableau 4.13 – Principales agglomérations dont les brevets citent les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Agglomération	Nombre de citations vers l'AML
PARIS	3630
COLOGNE	2449
TOKYO	2099
FRANKFURT	2046
DUSSELDORF	1848
GRENOBLE	1503
NEW YORK	1335
OSAKA	1228
PHILADELPHIA	1205
MANNHEIM	1121
YOKOHAMA	1044
BALE	946
MUNICH	872
SAN FRANCISCO	836
STUTTGART	833
ZURICH	795
HIROSHIMA	704
ST LOUIS	692
LONDON	667
MITO	640

FIGURE 4.27 – Citations réalisées par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise vers d'autres agglomérations, 1978-2017

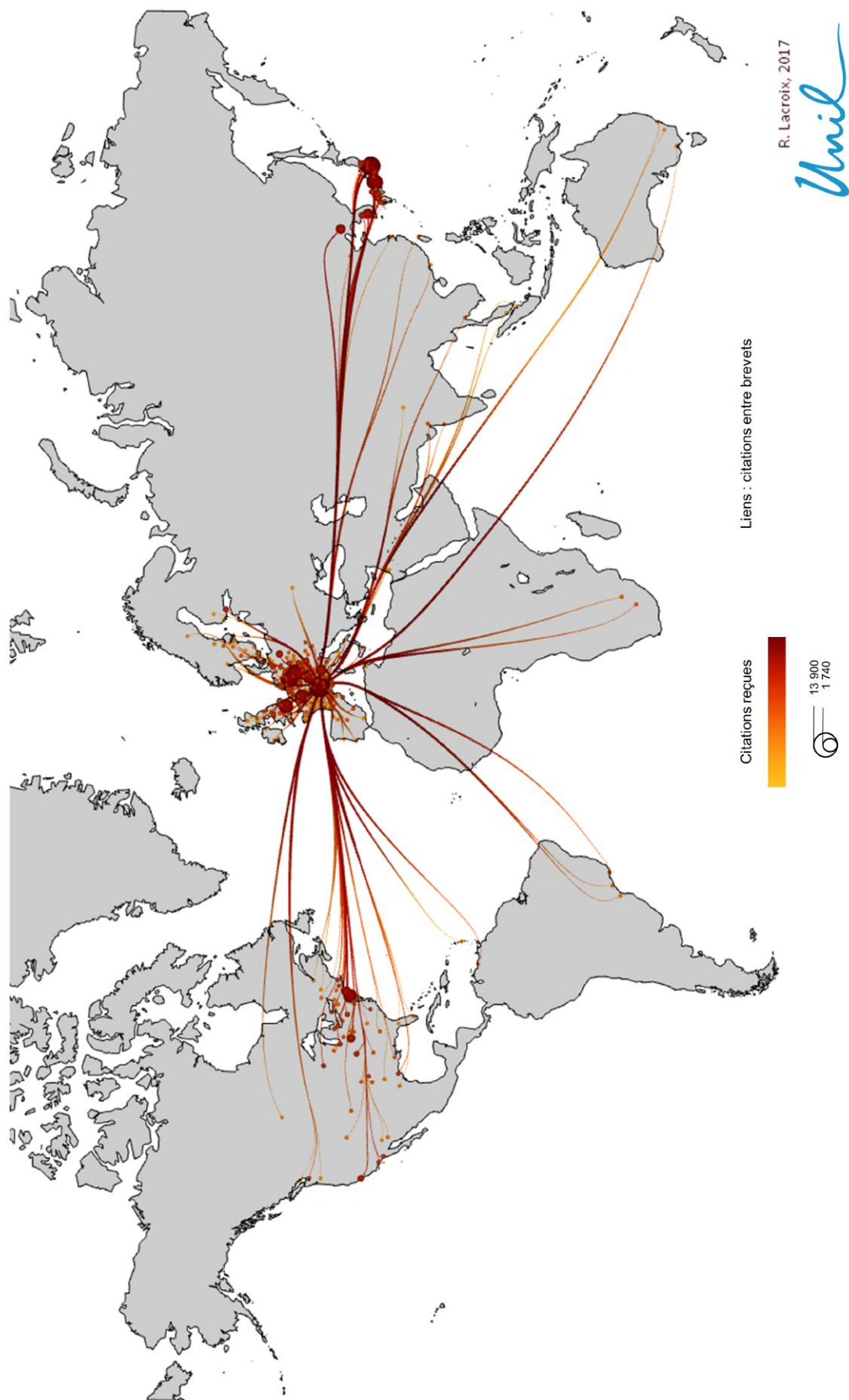
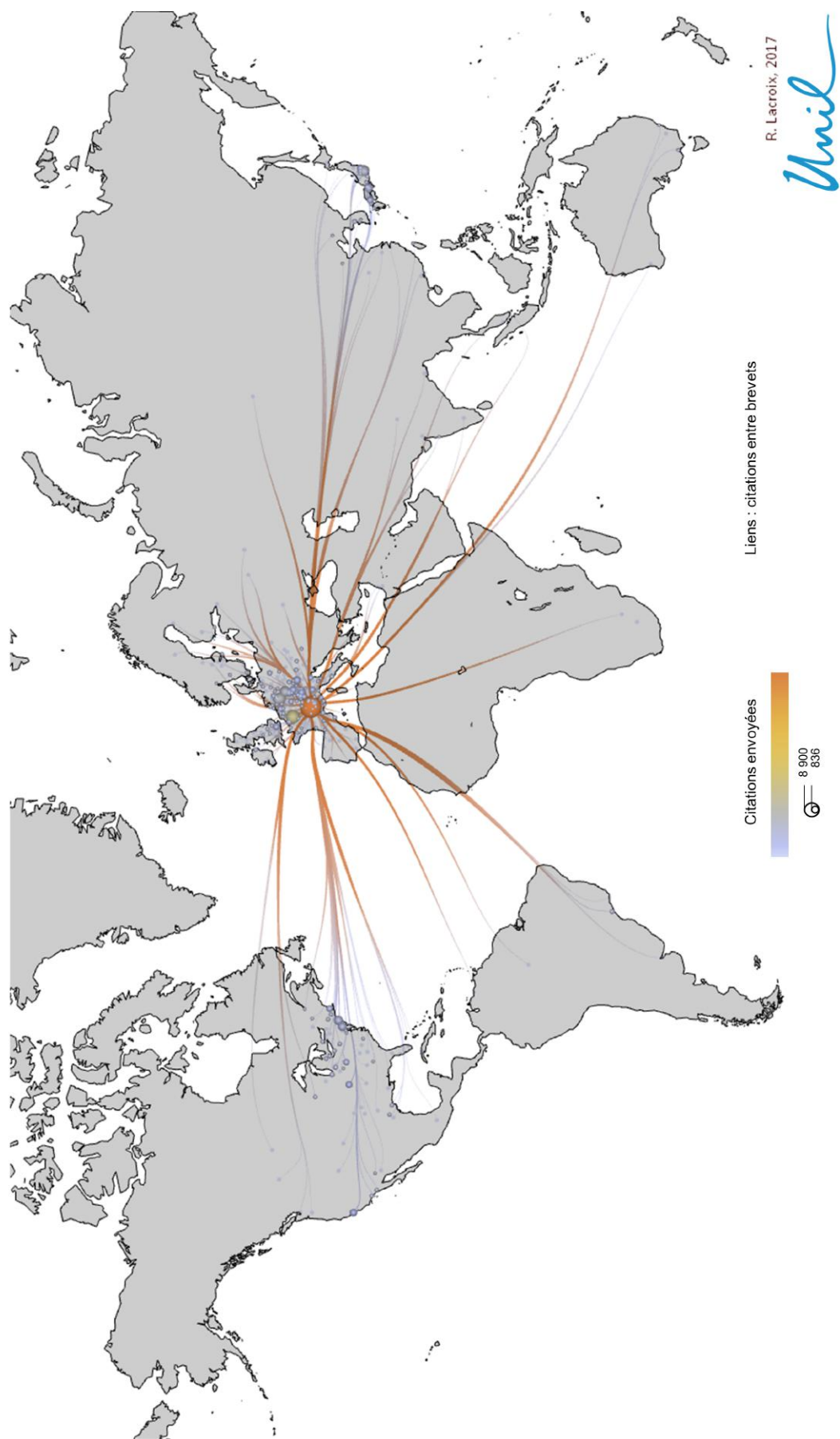


FIGURE 4.28 – Citations réalisées par les brevets d'autres agglomérations lyonnaises, 1978-2017



4.2.2 Positions

Ayant observé les liens des différents espaces relationnels considérés à travers les collaborations, on peut maintenant analyser la structure en étudiant les nœuds de ces réseaux de proximité.

4.2.2.a Positions dans l'espace technologique

On s'attache dans un premier temps à étudier les positions des nœuds dans le réseau de proximité technologique, c'est-à-dire les positions respectives des technologies selon différents critères.

Pour étudier les positions dans un réseau, différentes mesures de centralités peuvent être mobilisées. Dans un premier temps, la centralité d'intermédiarité (Freeman, 1977) compte le nombre de fois où un nœud est un point de passage des plus courts chemins entre les autres nœuds. Dans ce cas précis, il s'agit d'identifier les technologies dont la maîtrise s'avérera nécessaire pour relier deux autres technologies, le plus de fois possible.

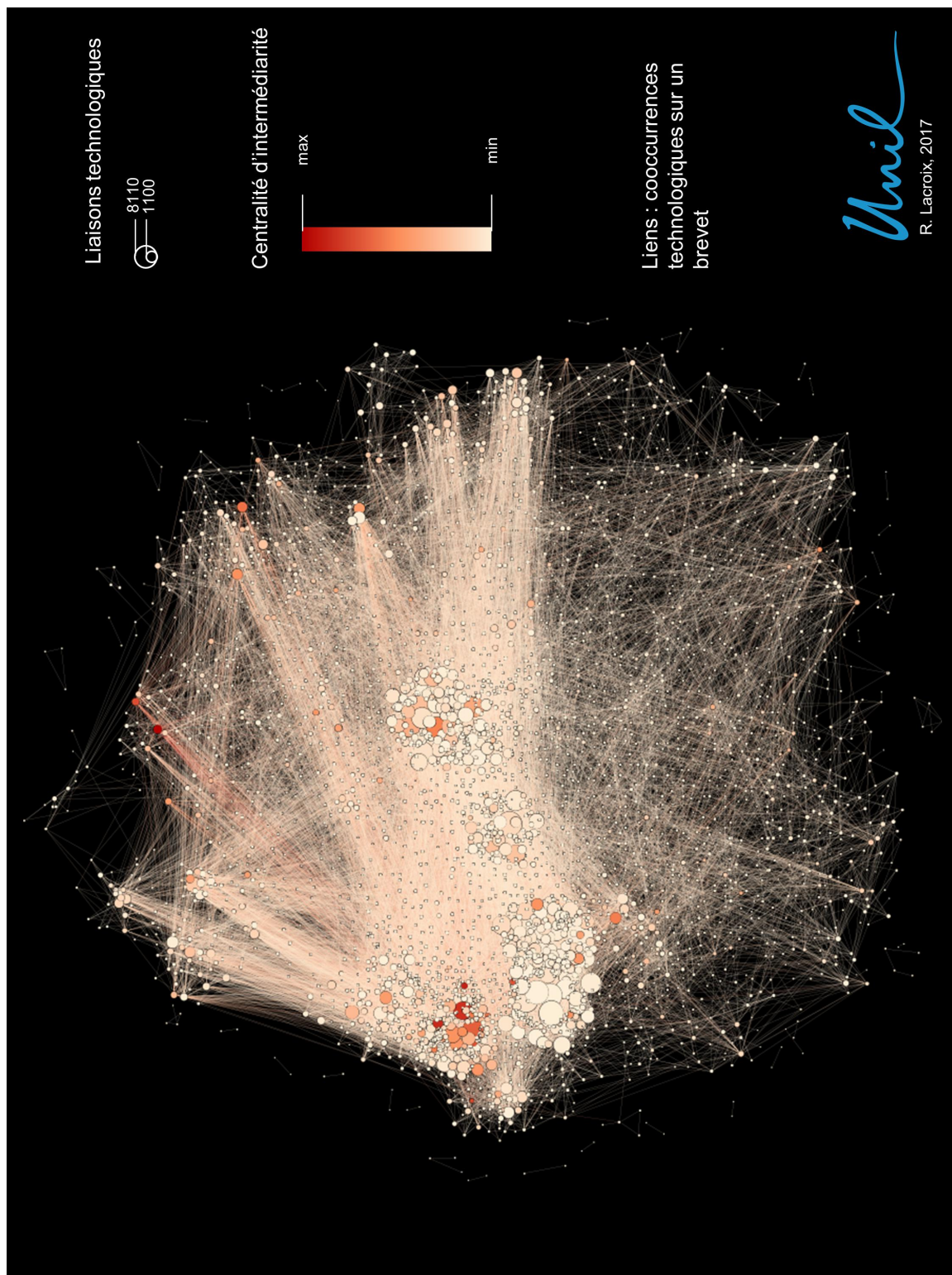
Le tableau 4.14 identifie les 20 premières technologies en termes de centralité d'intermédiarité. On remarque que nombre d'entre elles sont des technologies utilitaires à la base de la fabrication d'appareils en tous genre (p. e. accumulateurs, soupapes et robinets), de construction matérielle (plastiques, joints, pierres ou mortier) ou chimique. La figure 4.28 représente le réseau de proximité technologique dont les couleurs sont cette fois-ci dépendantes de la centralité d'intermédiarité. Les *clusters* identifiés dans la section précédente contiennent peu ces technologies intermédiaires. En effet, ces *clusters* étant assez spécialisés et le réseau présentant un caractère de petits mondes, ils ne sont donc pas propices à une grande diversité interne, mais en revanche, les technologies utilitaires forment les « ponts » entre ces *clusters*.

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Tableau 4.14 – Centralité d'intermédiarité dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Code	Technologie	Centralité d'intermédiarité normalisée
B29C045	Moulage par injection, c. à d. en forçant un volume déterminé de matière à mouler par une buse d'injection dans un moule fermé ; Appareils à cet effet	0.0051
F16J015	Joint d'étanchéité	0.0045
C09K003	Substances non couvertes ailleurs	0.0043
C08L083	Compositions contenant des composés macromoléculaires obtenus par des réactions créant dans la chaîne principale de la macromolécule une liaison contenant uniquement du silicium, avec ou sans soufre, azote, oxygène ou carbone ; Compositions contenant des dérivés de tels polymères	0.0042
G10K011	Procédés ou dispositifs pour transmettre, conduire ou diriger le son en général ; Procédés ou dispositifs de protection contre le bruit ou les autres ondes acoustiques ou pour amortir ceux-ci, en général	0.0038
B29C065	Assemblage d'éléments préformés ; Appareils à cet effet	0.0037
G01N027	Recherche ou analyse des matériaux par l'emploi de moyens électriques, électrochimiques ou magnétiques	0.0036
B32B015	Produits stratifiés composés essentiellement de métal	0.0035
C08K005	Emploi d'ingrédients organiques	0.0033
B29B007	Mélange ; Malaxage de matières plastiques	0.0030
D04H001	Fabrication de tissus textiles non tissés formés uniquement ou principalement de fibres coupées ou autres fibres similaires relativement courtes	0.0030
B32B007	Produits stratifiés caractérisés par la relation entre les couches, c. à d. produits comprenant essentiellement des couches ayant des propriétés physiques différentes, ou produits caractérisés par la jonction entre couches	0.0028
E04B001	Constructions en général ; Structures qui ne sont limitées ni aux murs, p.ex. cloisons, ni aux planchers, ni aux plafonds, ni aux toits	0.0028
H01M010	Accumulateurs qui reçoivent et fournissent de l'énergie électrique au moyen de réactions électrochimiques réversibles	0.0028
C07C067	Préparation d'esters d'acides carboxyliques	0.0027
C04B041	Post-traitement des mortiers, du béton, de la pierre artificielle ou des céramiques ; Traitement de la pierre naturelle	0.0024
B29C070	Façonnage de matières composites, c.à d. de matières plastiques comprenant des renforcements, des matières de remplissage ou des parties préformées, p.ex. des inserts	0.002
C08K003	Emploi d'ingrédients inorganiques	0.0024
F16K031	Moyens de fonctionnement des soupapes et robinets ; Dispositifs de retour à la position de repos	0.0023
C07C231	Préparation d'amides d'acides carboxyliques	0.0023

FIGURE 4.29 – Centralité d'intermédiarité dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



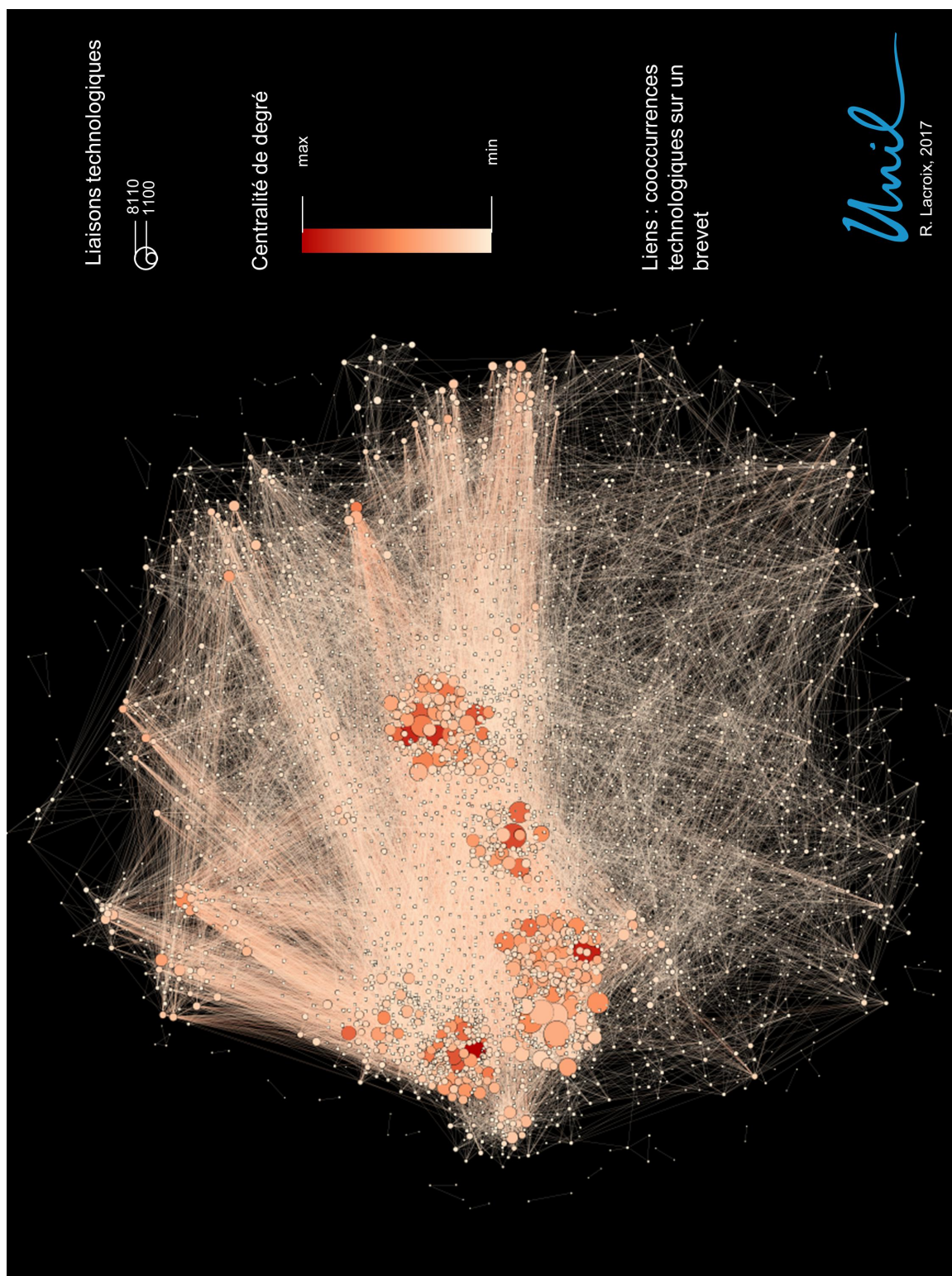
4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

On a ensuite la centralité de degré qui mesure le nombre de liens incidents à un nœud (Freeman, 1979). Cela est alors basé sur l'idée que l'importance d'une technologie au sein du réseau dépend du nombre total de liens qu'elle tisse avec d'autres technologies. Selon cette mesure, cela revient donc à compter le nombre de technologies voisines. Le tableau 4.15 présente ainsi les 20 technologies les plus liées. Comme on pouvait s'y attendre, il s'agit de technologies généralistes telles que la préparation de composants chimiques divers ou de préparations médicinales. La figure 4.30 représente cette centralité.

Tableau 4.15 – Degré des technologies dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

Code	Technologie	Degré
C08K005	Emploi d'ingrédients organiques comme adjuvants de substances non macromoléculaires inorganiques ou organiques	361
A61K031	Préparations médicinales contenant des ingrédients actifs organiques	318
C07B061	Procédés généraux de chimie organique	310
C07C067	Préparation d'esters d'acides carboxyliques	304
A61K008	Cosmétiques ou préparations similaires pour la toilette	267
C08K003	Emploi d'ingrédients inorganiques	251
B01J031	Catalyseurs contenant des hydrures, des complexes de coordination ou des composés organiques	249
C08J003	Procédés pour le traitement de substances macromoléculaires ou la formation de mélanges	247
B01J023	Catalyseurs contenant des métaux, oxydes ou hydroxydes métalliques non prévus dans le groupe B01J 21/00	242
C08F002	Procédés de polymérisation	231
A61K009	Préparations médicinales caractérisées par un aspect particulier	227
C07F009	Composés contenant des éléments des groupes 5 ou 15 de la classification périodique	225
C08L083	Compositions contenant des composés macromoléculaires obtenus par des réactions créant dans la chaîne principale de la macromolécule une liaison contenant uniquement du silicium, avec ou sans soufre, azote, oxygène ou carbone ; Compositions contenant des dérivés de tels polymères	223
C07C323	Thiols, sulfures, hydropolysulfures ou polysulfures substitués par des halogènes, des atomes d'oxygène ou d'azote ou par des atomes de soufre ne faisant pas partie de groupes thio	220
A61K047	Préparations médicinales caractérisées par les ingrédients non actifs utilisés, p.ex. les supports ou les additifs inertes	217
C08J005	Fabrication d'objets ou de matériaux façonnés contenant des substances macromoléculaires	217
C07C069	Esters d'acides carboxyliques; Esters de l'acide carbonique ou de l'acide formique halogéné	207
C07C255	Nitriles d'acides carboxyliques	206
B01D053	Séparation de gaz ou de vapeurs; Récupération de vapeurs de solvants volatils dans les gaz; Épuration chimique ou biologique des gaz résiduels, p.ex. gaz d'échappement des moteurs à combustion, fumées, vapeurs, gaz de combustion ou aérosols	206
C07F007	Composés contenant des éléments des groupes 4 ou 14 de la classification périodique	204

FIGURE 4.30 – Centralité de degré dans le réseau de proximité technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

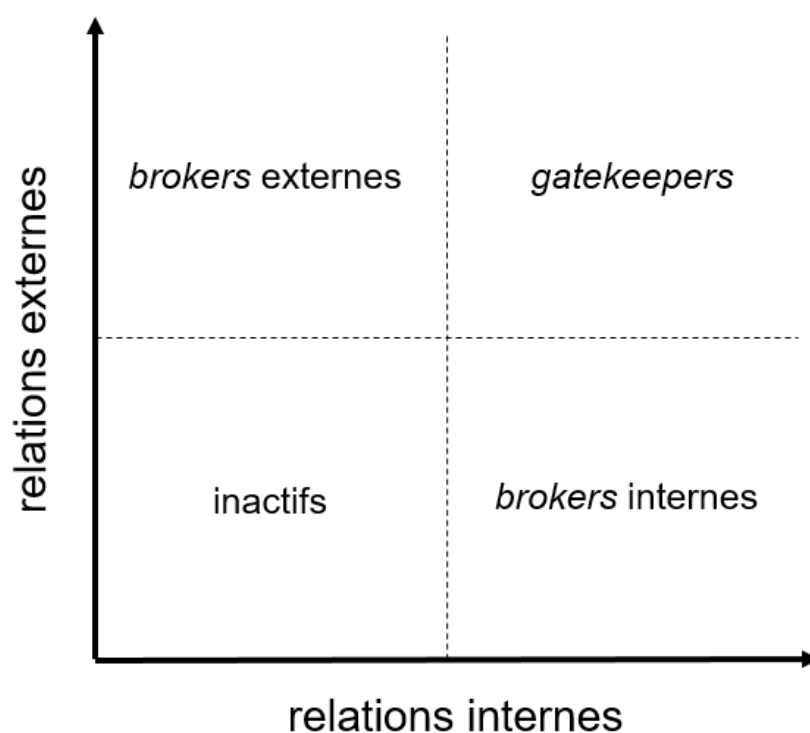


4.2.2.b Positions dans l'espace organisationnel

Dans un second temps, on analyse les positions dans le réseau organisationnel. Pour guider notre démarche, nous partons du concept de *gatekeeper*. Dans la littérature sur les réseaux d'innovations, un *gatekeeper* est un acteur qui, grâce à une grande ouverture sur le monde et un ancrage local fort, agit comme un commutateur faisant passer un certain nombre d'informations et de connaissances à l'intérieur du territoire local que les acteurs locaux n'arrivent pas forcément à obtenir, faute d'accès à des connaissances tacites par exemple.

Ainsi on considère le schéma de la figure 4.31 traduit de Graf (2011) où on catégorise quatre types d'acteurs selon deux axes. L'axe des abscisses qui représente les liens locaux (internes) et l'axe des ordonnées qui représente les liens non locaux (externes). En bas à gauche, on a alors les acteurs peu actifs en interne et en externe ; en bas à droite les acteurs qui facilitent les relations internes (appelés *brokers* ou courtiers internes), mais peu présents en dehors de l'espace local ; en haut à gauche les acteurs peu présents dans l'espace local, mais *brokers* de relations non locales ; et en haut à droite les *gatekeepers*, les acteurs qui sont des courtiers à la fois locaux et non locaux et qui permettent l'interaction de ces deux bases de connaissances. Il a été montré que ces derniers étaient préférentiellement des acteurs publics (Graf, 2011 ; Giuliani, 2011).

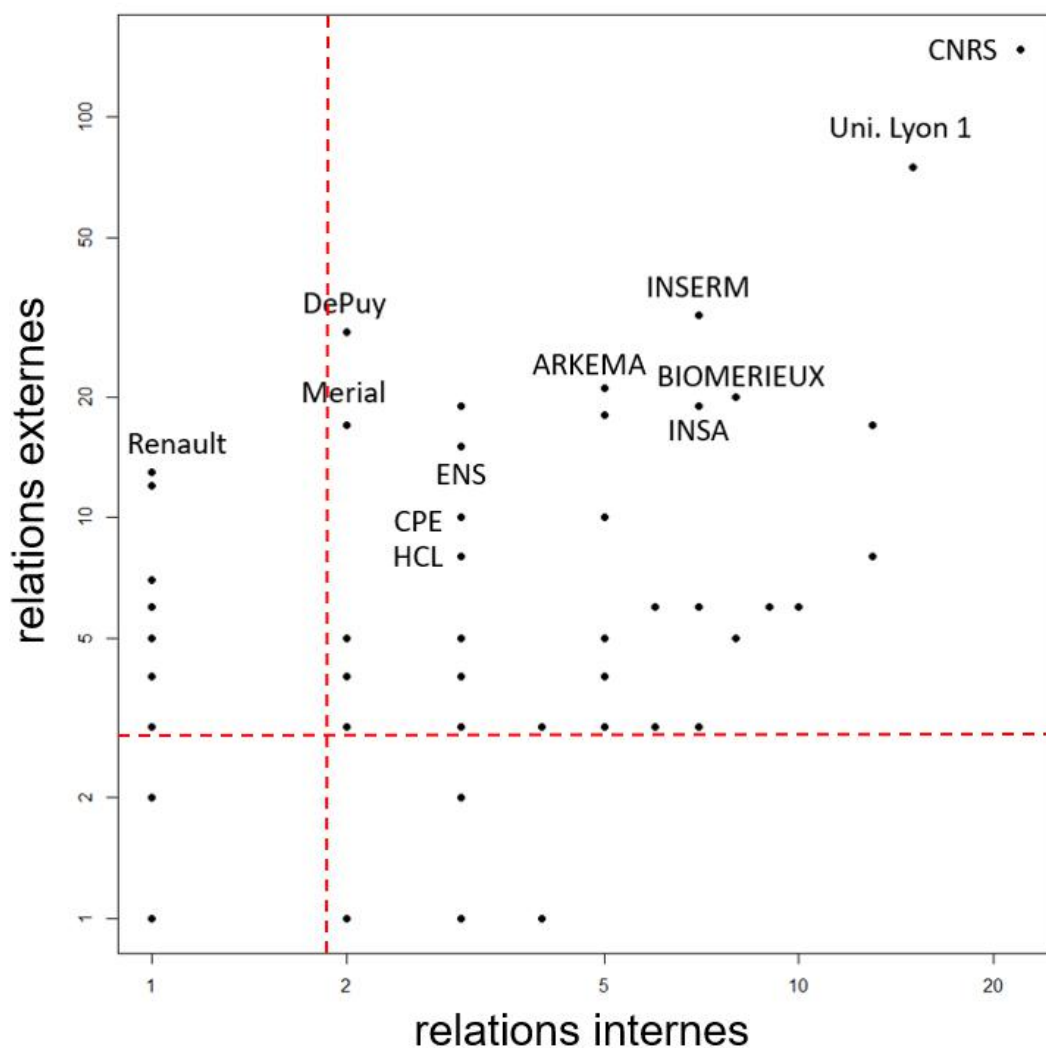
FIGURE 4.31 – Identification des gatekeepers selon leurs relations



4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Afin de distinguer ces acteurs dans notre réseau de proximité organisationnelle, on regarde les cobrevets. Pour chaque cobrevets, on assigne des relations qui sont internes ou externes à l'aire métropolitaine lyonnaise. On obtient alors le graphique représenté sur la figure 4.32. Les échelles sont logarithmiques afin de mieux appréhender l'effet de taille potentiel des acteurs. Aussi, traçant les axes moyens des valeurs, soit 2.84 cobrevets pour les liens externes et 1.87 cobrevets pour les liens internes.

FIGURE 4.32 – *Gatekeepers* de l'aire métropolitaine lyonnaise à partir des cobrevetages, 1978-2017



On identifie alors 33 acteurs gatekeepers aux premiers rangs desquels l'université Lyon 1 et le CNRS. Ces gatekeepers sont à 30% des acteurs publics ce qui proportionnellement à leur nombre (2.3%) paraît confirmer les résultats des autres études sur le sujet. À cet égard on peut indiquer l'hypothèse de Graf (2011) selon laquelle les acteurs publics partagent plus volontiers leurs recherches que les acteurs privés et donc coopèrent plus facilement.

Pour ce qui est du réseau de proximité organisationnelle basée sur la mobilité professionnelle des inventeurs, les centralités de degré et d'intermédiarité représentées sur les figures 4.33 et 4.34 révèlent dans les deux cas le caractère éminemment central du CNRS. Cela s'explique encore une fois par l'organisation de la recherche publique française qui fait du CNRS un rôle d'intermédiaire incontournable entre les instituts de formations et les entreprises.

Cela s'explique encore une fois par l'organisation de la recherche publique française qui fait du CNRS un rôle d'intermédiaire incontournable entre les instituts de formations et les entreprises.

En prenant maintenant en compte la proximité organisationnelle selon l'appartenance à une organisation, on calcule de la même façon les centralités de degré et d'intermédiarité représentées sur les réseaux des figures 4.35 et 4.36.

On remarque d'abord que la centralité de degré fait également apparaître l'entreprise Rhodia comme nœud d'importance remarquable. En effet, grâce à sa longue implantation locale (début du XXe siècle), l'entreprise a su se lier avec un nombre considérable d'inventeurs différents ce qui peut expliquer son degré important, 827, soit le nombre d'inventeurs auquel elle est reliée directement, ce qui est plus que le CNRS (809 inventeurs).

S'intéressant ensuite à la centralité d'intermédiarité, on voit cependant ici que Rhodia est bien plus faible que le CNRS (0.08 contre 0.17) ce qui peut s'expliquer pour les mêmes raisons que précédemment, mais Rhodia est toutefois le premier acteur privé en termes d'intermédiarité. On peut donc l'expliquer par sa masse salariale conséquente qui fait donc gonfler cette intermédiarité.

FIGURE 4.33 – Centralité de degré dans le réseau de mobilité professionnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

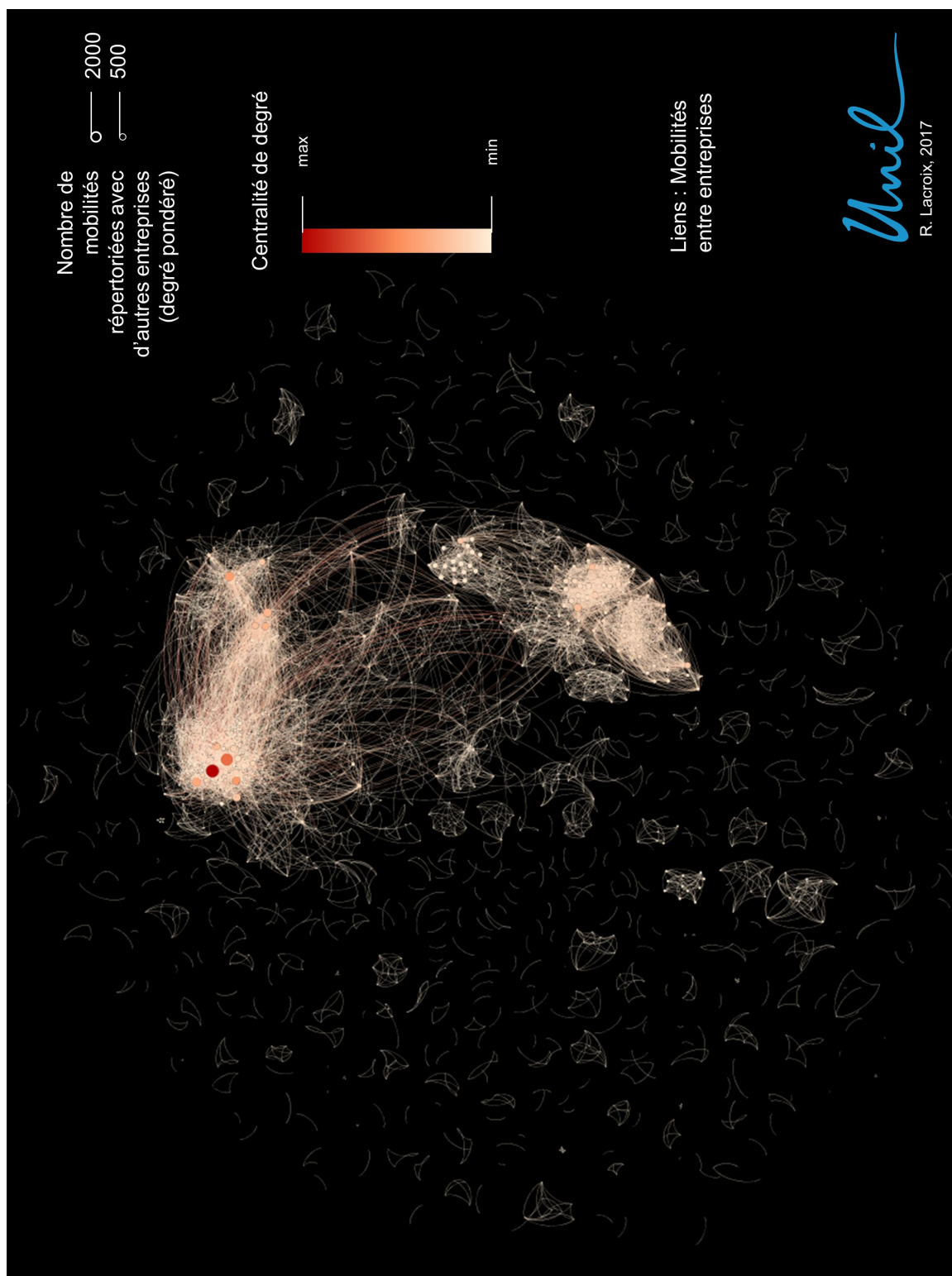


FIGURE 4.34 – Centralité d'intermédiarité dans le réseau de mobilité professionnelle dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

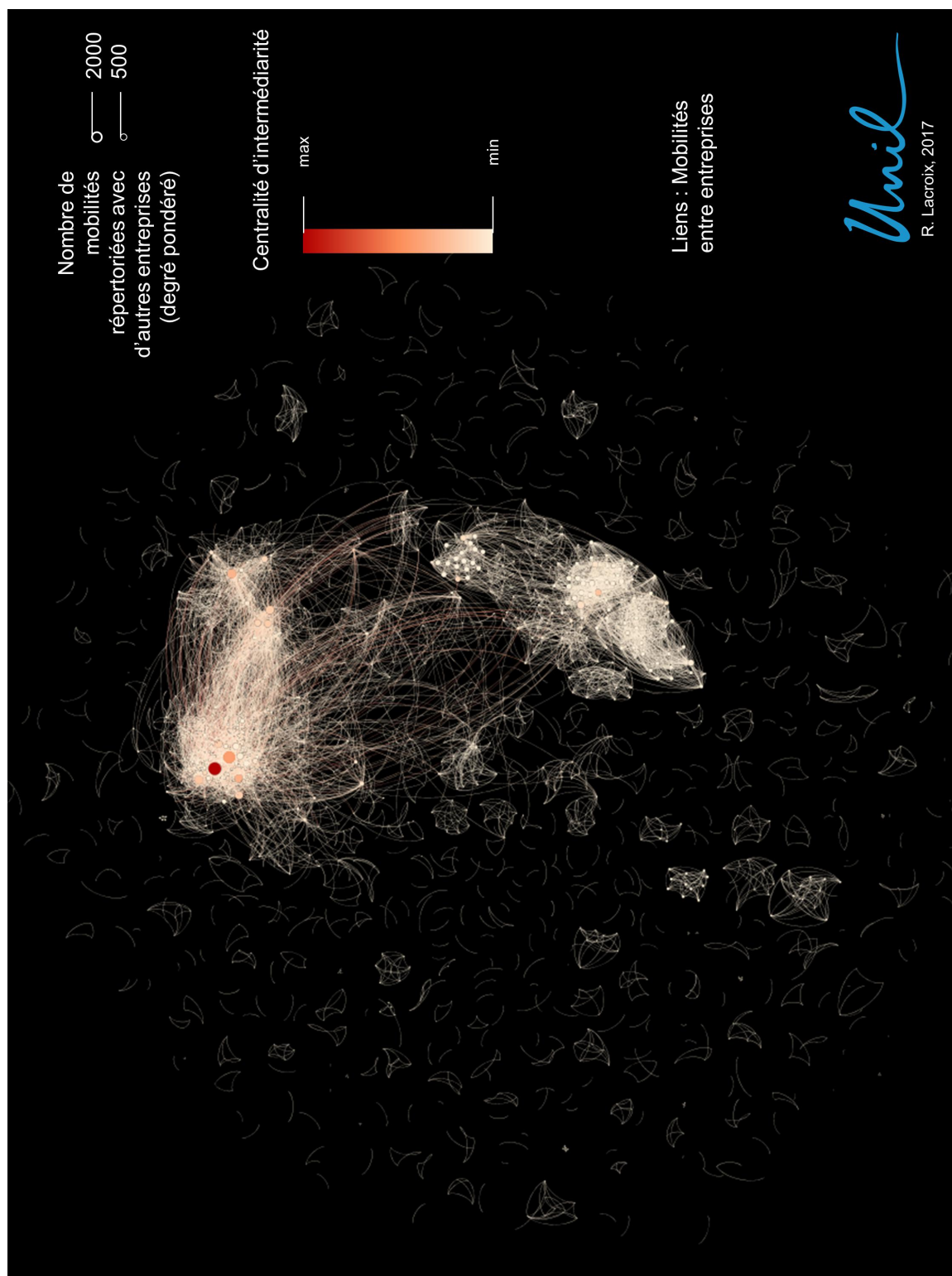


FIGURE 4.35 – Centralité de degré dans le réseau de proximité organisationnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

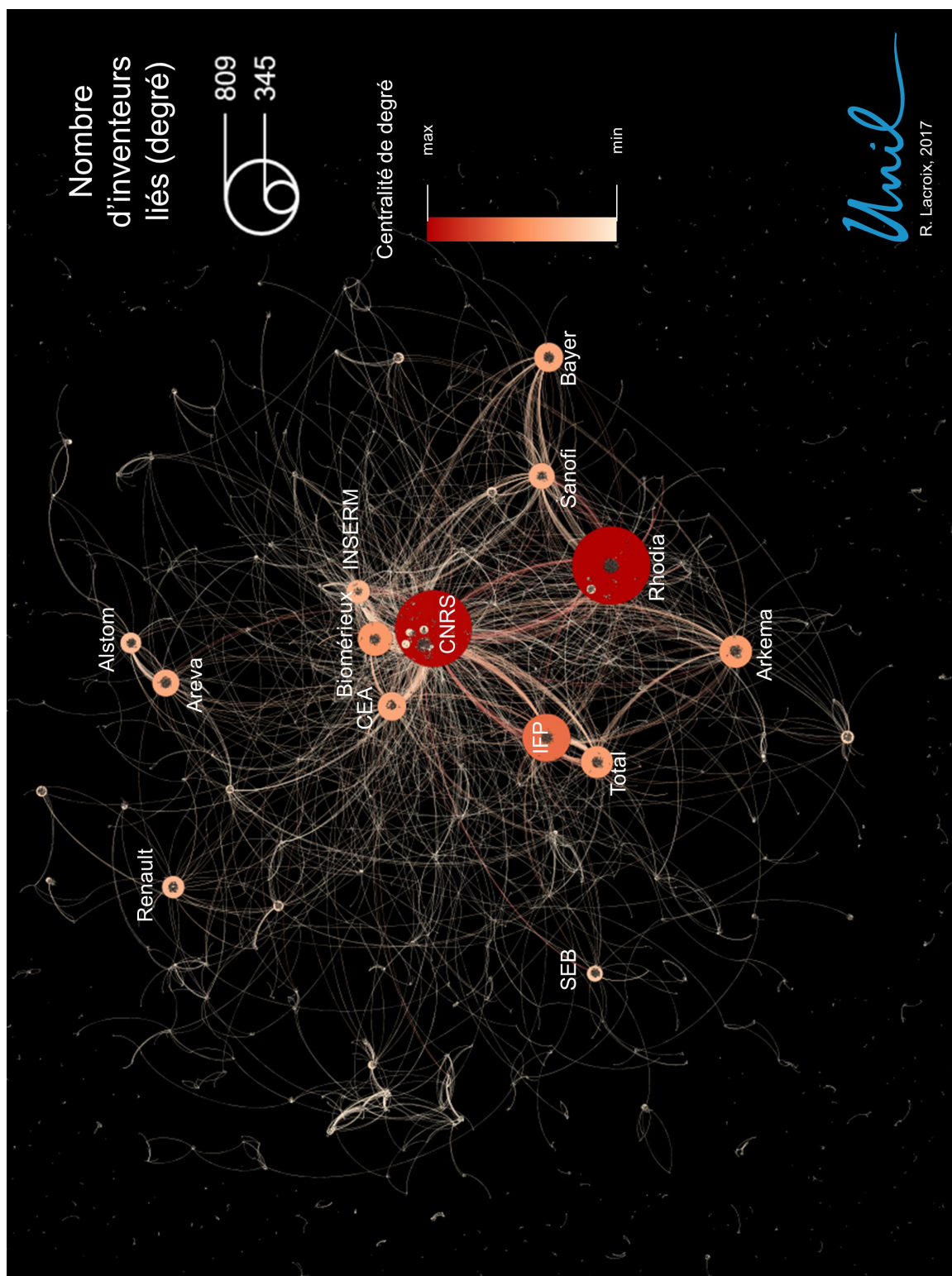
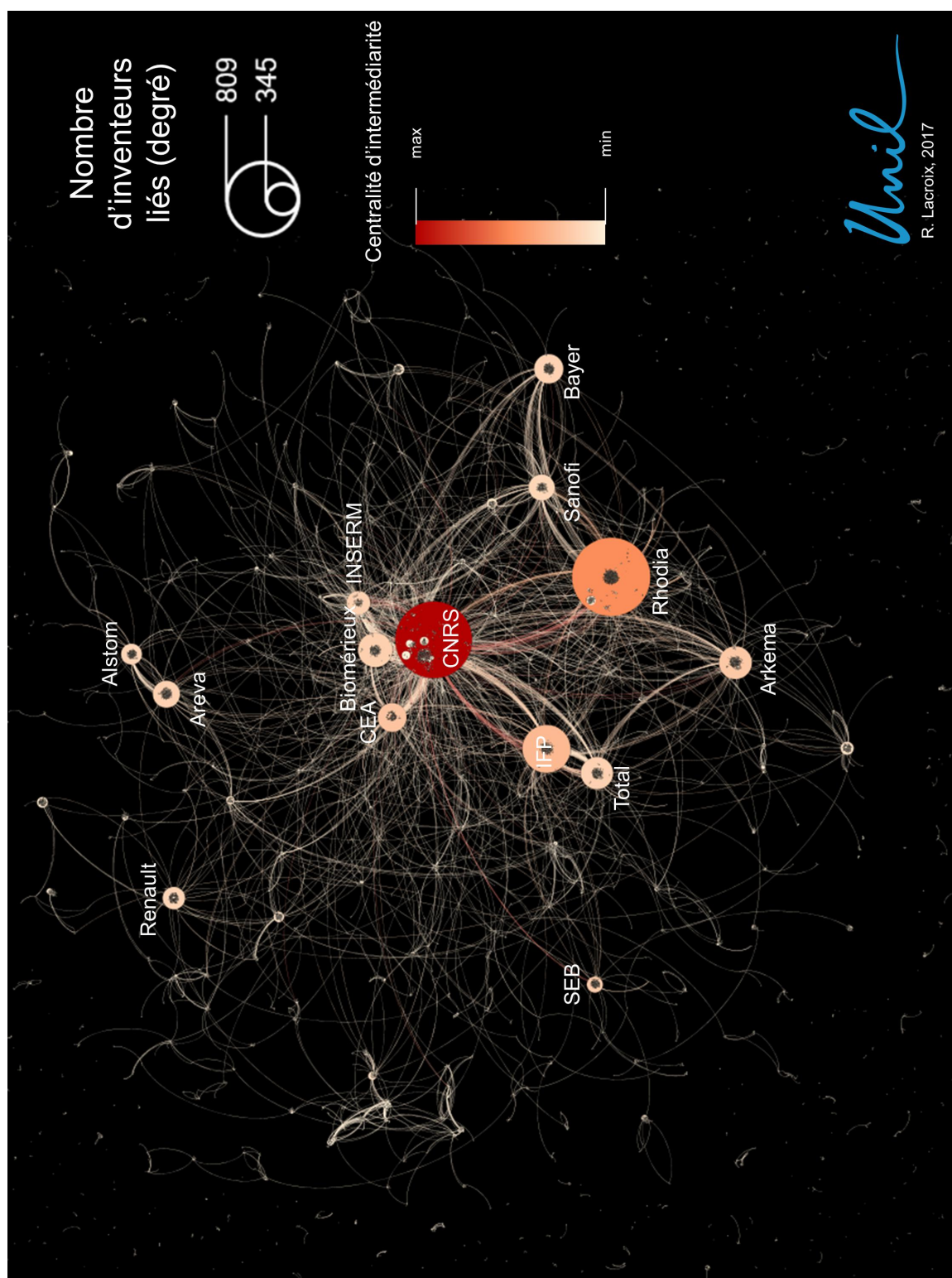


FIGURE 4.36 – Centralité d'intermédiation dans le réseau de proximité organisationnelle de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



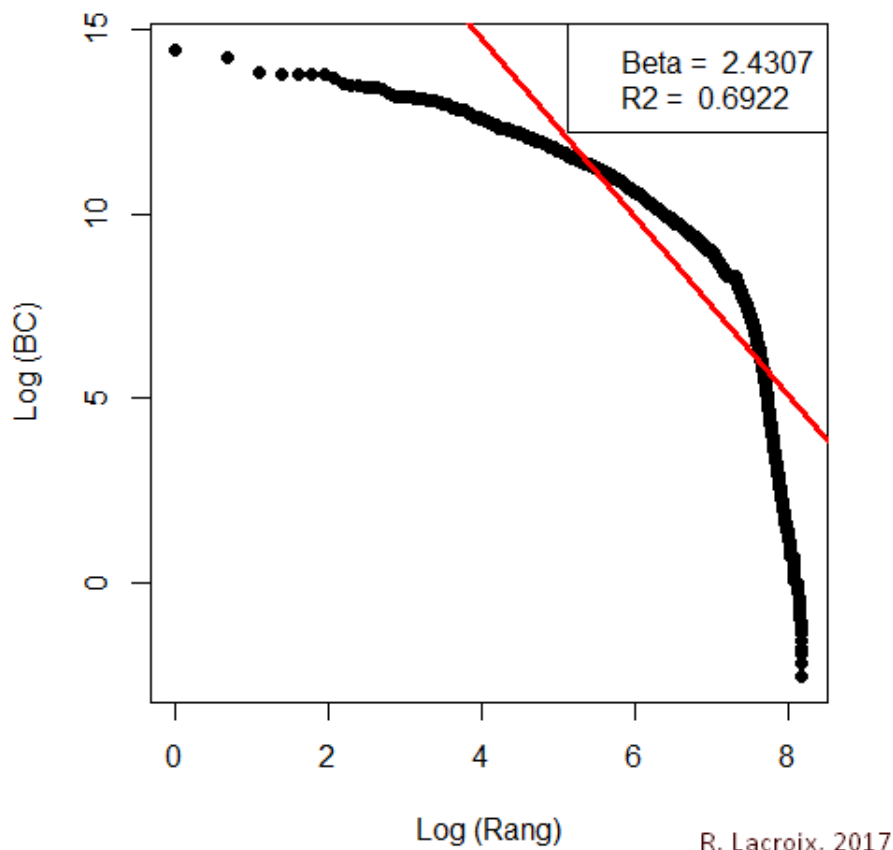
4.2.2.c Positions dans l'espace social

On a vu que ce réseau social se caractérisait par un grand nombre de petites communautés. Il convient donc maintenant d'analyser les positions des individus dans celles-ci, c'est-à-dire de voir si des inventeurs « dominant » ces communautés, et si des inventeurs réalisent des ponts entre communautés.

On rappelle que la modularité d'un réseau est la densité des liens à l'intérieur d'une communauté comparé à la densité des liens entre communautés. Elle est ici de 0.938 ce qui signifie que les liens à l'intérieur des communautés sont très supérieurs aux liens entre communautés d'inventeurs (le maximum étant de 1). Ces liens entre communautés étant peu nombreux, on devrait pouvoir les observer grâce à une représentation de la centralité d'intermédiarité.

Cette centralité d'intermédiarité se distribue ici de façon très inégalitaire (β de 2.43), ce qui indique effectivement qu'un petit nombre d'acteurs agissent comme des ponts entre les communautés (Fig. 4.37).

FIGURE 4.37 – Distribution hiérarchique de la centralité d'intermédiarité dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



Nous représentons alors sur la figure 4.38 les inventeurs avec les valeurs de centralité d'intermédiaires les plus importantes sur notre réseau (on prend les 0.5% supérieurs). Afin de mieux comprendre comment s'effectue ces relations, prenons la trajectoire professionnelle d'un inventeur significatif de notre réseau, Pierre L.P. Ce chercheur est chimiste et commence sa carrière d'inventeur en 1983 conjointement au CNRS et à l'Institut Français du Pétrole. En 1988 il participe à l'élaboration d'un brevet sous la propriété de Biomérieux, en 1990 pour l'École Centrale de Lyon et en 1991 pour la Société Nationale des Poudres et Explosifs. Il réalise par la suite des brevets pour Chryso, Total et Spado tout en continuant son activité au CNRS et chez IFP jusqu'en 2007, supervisant 15 thèses entre 1985 et 1998.

On le voit, ces nombreuses activités à la fois chez des organisations publiques et privées pendant cette carrière permettent à Pierre L.P. de se distinguer dans le réseau d'inventeurs par son intermédiation. Grâce aux relations qu'il tisse dans les différentes organisations qu'il fréquente, Pierre L.P. devient un acteur presque incontournable (au sens topologique) du réseau.

On peut ensuite regarder la centralité de degré des inventeurs, mais en raison de la forte modularité, celle-ci renvoie surtout à la taille de la communauté. On s'aperçoit cependant qu'au sein des communautés, certains inventeurs dominent clairement les autres, et il se trouve justement qu'il s'agit généralement des mêmes inventeurs qui se positionnent aux premières places de centralité d'intermédiation. Aussi, on peut clairement affirmer qu'il existe des inventeurs « stars », selon la terminologie de la littérature. Cependant, à l'inverse de Zucker *et al.* (1996) qui les voyaient comme collaborant davantage avec les scientifiques de leurs propres organisations, on voit ici que ce sont les inventeurs parmi les plus ouverts à la collaboration interorganisationnelle.

Ces inventeurs-stars présentent ainsi le plus de positions centrales dans le réseau : ils ont davantage de collaborateurs (centralité de degré), ils ont un meilleur accès à l'information et à la connaissance en raison de la réduction des plus courts chemins à tous les autres inventeurs du réseau (centralité d'intermédiation) et ils ont également un meilleur contrôle sur les flux de connaissances dans le réseau puisque davantage de connaissances passent par eux (Fig. 4.39).

FIGURE 4.38 – Top 0.5% des valeurs de centralité d'intermédiarité du réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

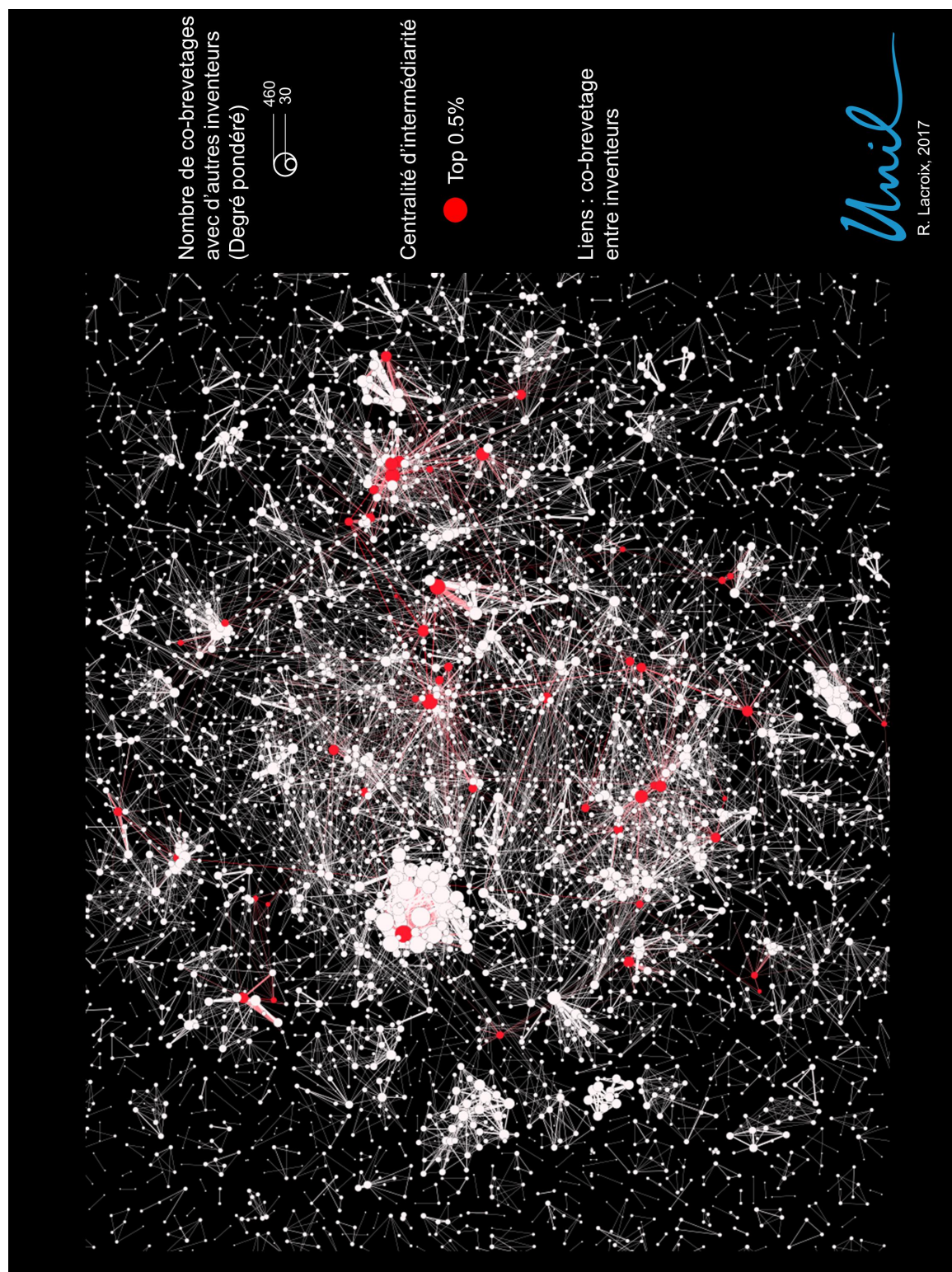
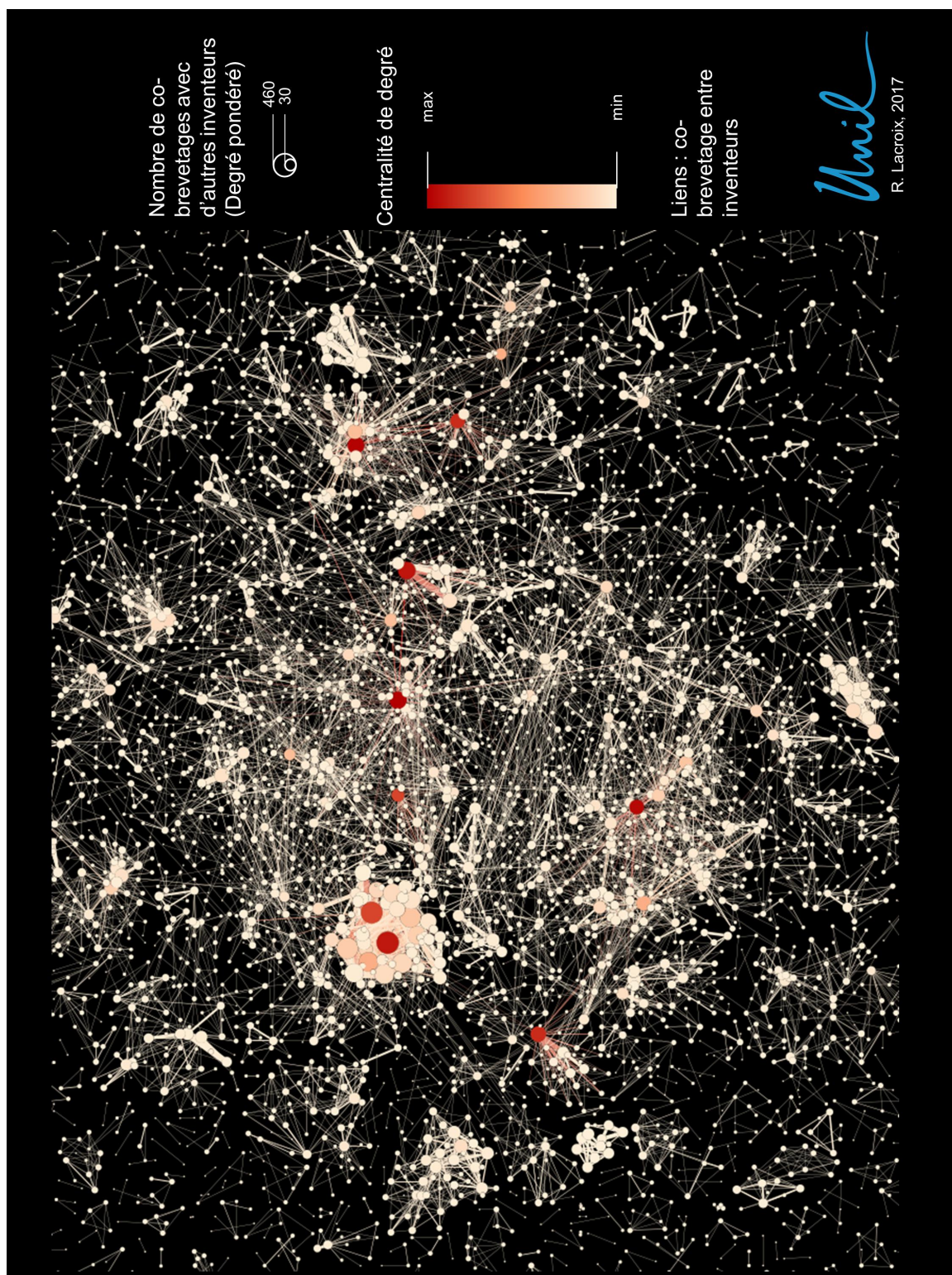


FIGURE 4.39 – Centralité de degré dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017



4.2.2.d Positions dans l'espace géographique

Dans un dernier temps, ce sont les positions géographiques qui vont nous intéresser. Un centre géographique est un lieu privilégié d'interactions, de rencontres, de confrontations, d'échanges matériels ou immatériels. Ces interactions produisent elles-mêmes d'autres infrastructures destinées à rendre le centre plus accessible et ainsi le centre résulte des interactions et crée des interactions (Bourdeau-Lepage *et al.*, 2009). Aussi, par l'agglomération des inventeurs, des interactions nouvelles peuvent être créées, ici par exemple des co-brevets ou des citations de brevets.

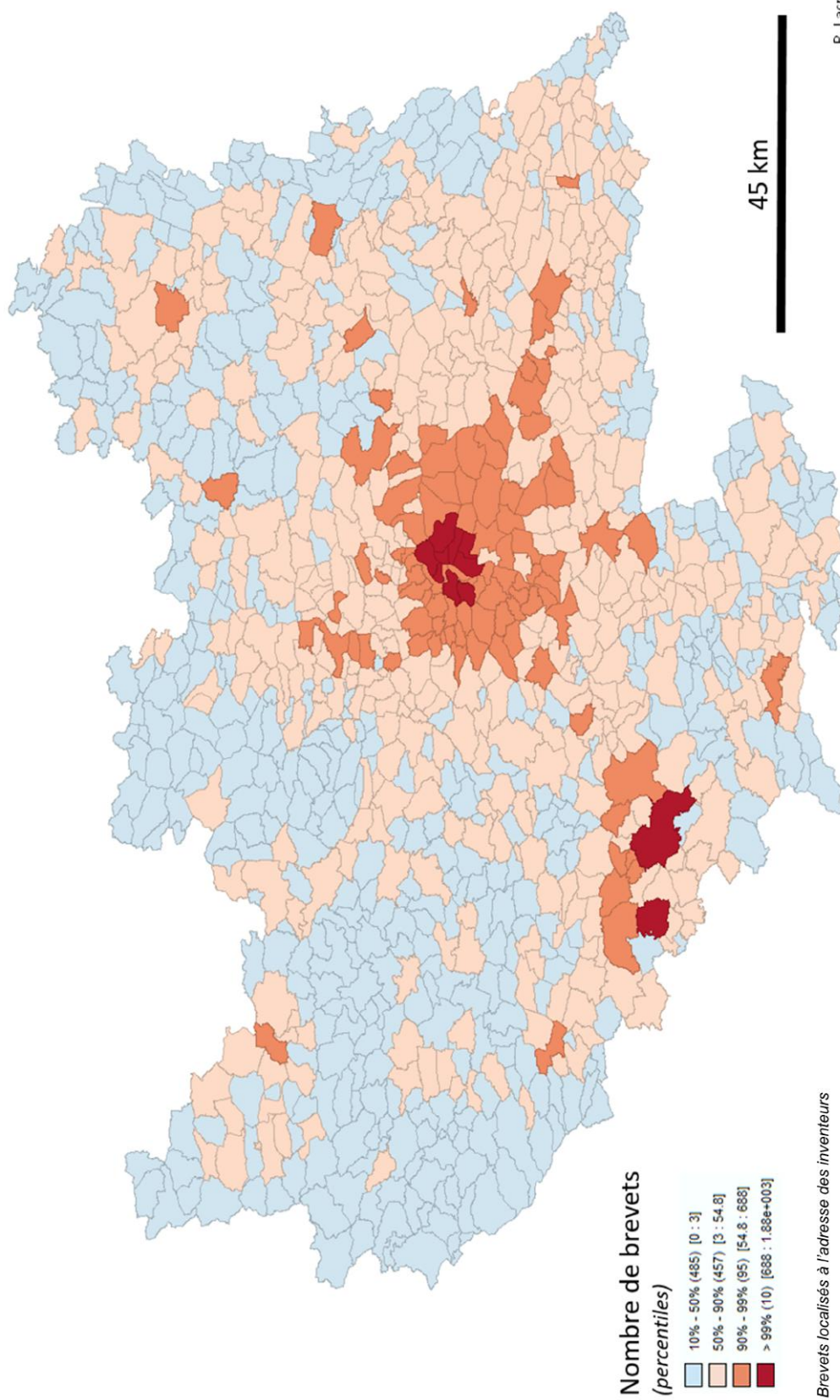
Deux approches guideront l'étude des positions dans notre territoire d'étude. La première consiste à considérer les positions à l'intérieur de ce territoire où on le considère alors comme une surface, et la seconde à considérer la position du territoire par rapport au monde, c'est-à-dire le ramener à l'état de point en agglomérant ses caractéristiques internes.

Dans ses rapports internes, l'aire métropolitaine lyonnaise possède principalement deux pôles d'agglomération que sont Lyon et Saint-Étienne. C'est ici que se concentrent les inventeurs comme en témoigne la distribution spatiale des brevets sur la figure 4.40. Ces deux pôles concentrent à leur tour la majorité des co-brevets, comme on peut le voir sur la figure 4.41 où la centralité d'intermédiation fait ressortir les communes de Villeurbanne, Lyon 2e, Lyon 3e, Lyon 6e, Lyon 7e et Lyon 8e pour le pôle lyonnais et les communes de Saint-Étienne et Saint-Priest-en-Jarez pour le pôle stéphanois.

On peut également observer ces phénomènes de polarisation de l'activité innovante par technologie. Les principales technologies caractéristiques de l'aire métropolitaine lyonnaise ont ainsi été cartographiées dans les figures 4.42 à 4.47.

On y remarque encore une fois la concentration locale autour de Saint-Étienne et Lyon avec toutefois ici une certaine démarcation de Bourgoin-Jallieu dans certains secteurs, l'aéronautique notamment.

FIGURE 4.40 – Percentiles du nombre de brevets par commune de résidence des inventeurs, 1978-2017



R. Lacroix, 2017

Unil

FIGURE 4.41 – Centralité d'intermédiarité des communes dans le réseau de cobrevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

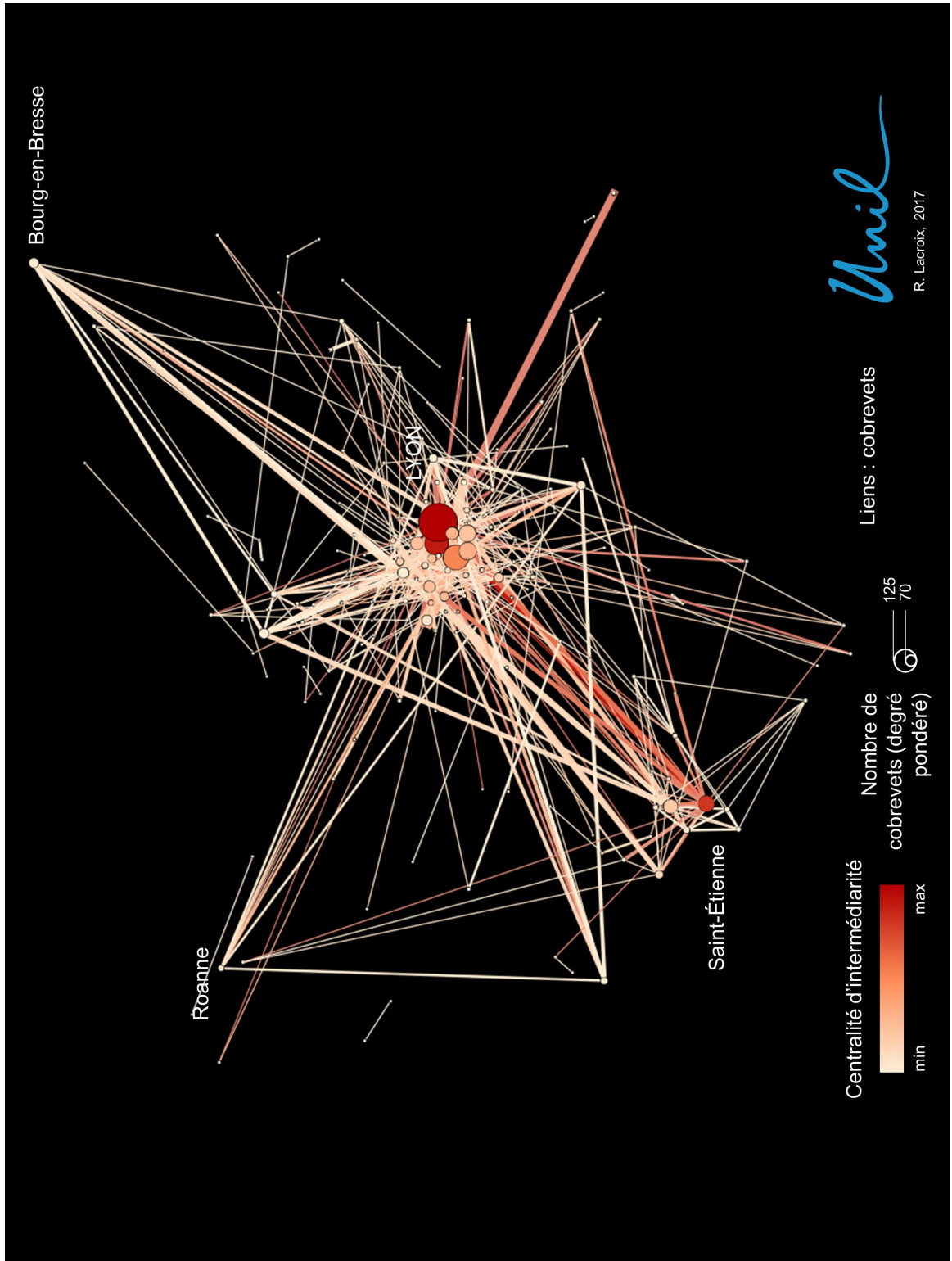


FIGURE 4.42 – Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe G21, 1978-2017

G21 - Physique nucléaire

Brevets de la catégorie G21



Partitionnement de Jenks
Brevets localisés selon l'adresse des inventeurs

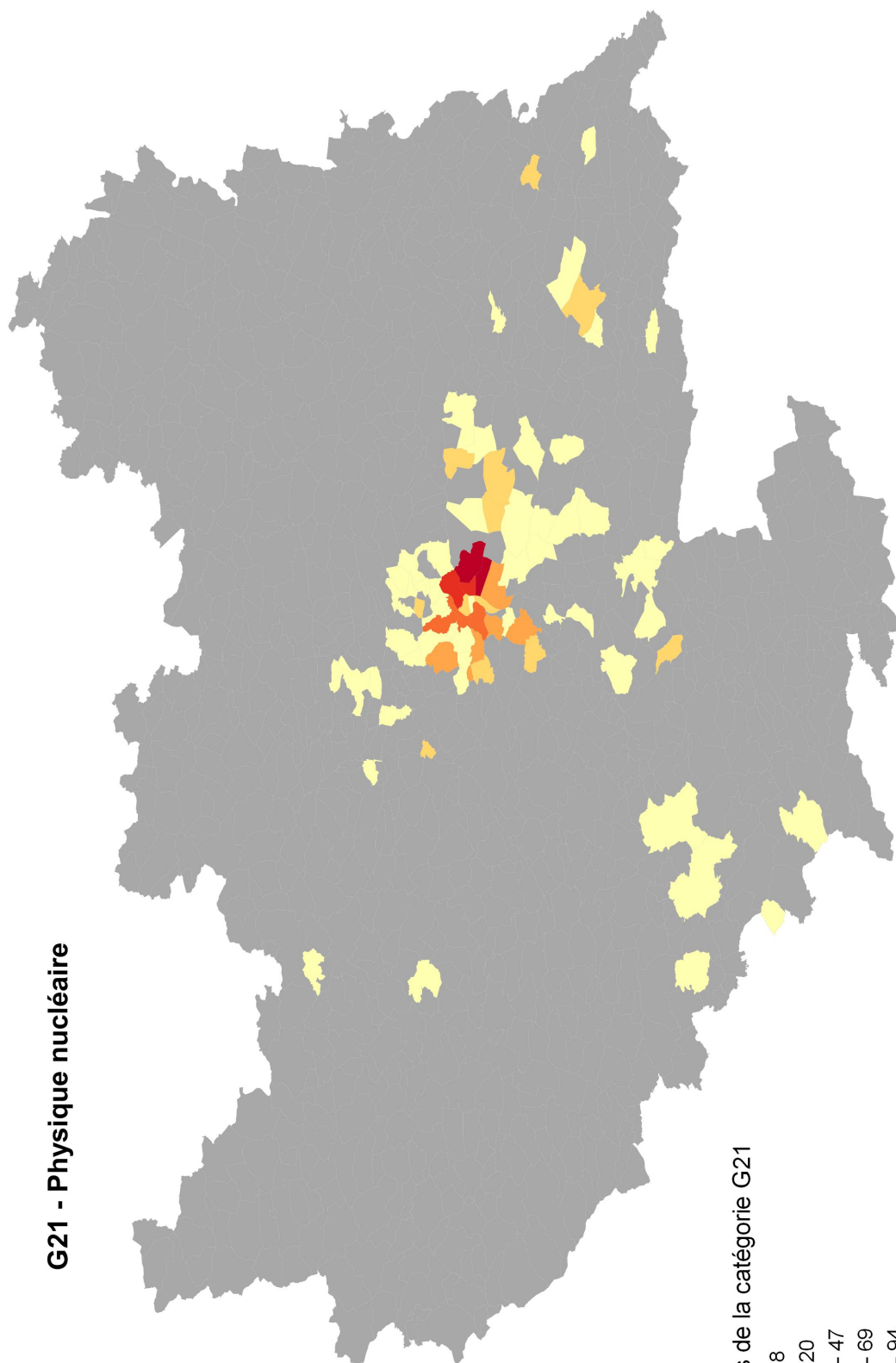


FIGURE 4.43 – Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe B64, 1978-2017

B64 - Aéronautique, aviation, astronautique

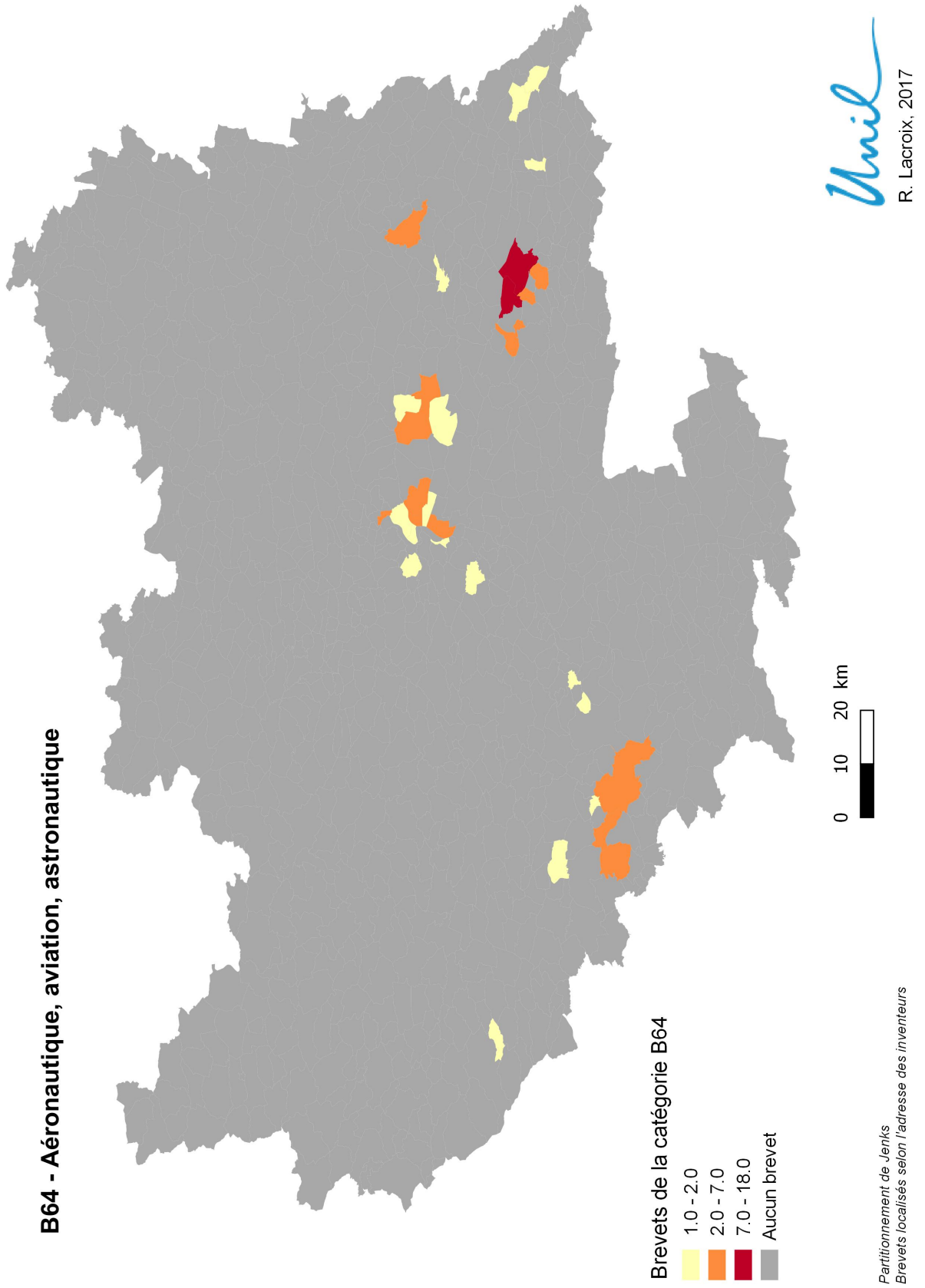


FIGURE 4.44 – Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe B60, 1978-2017

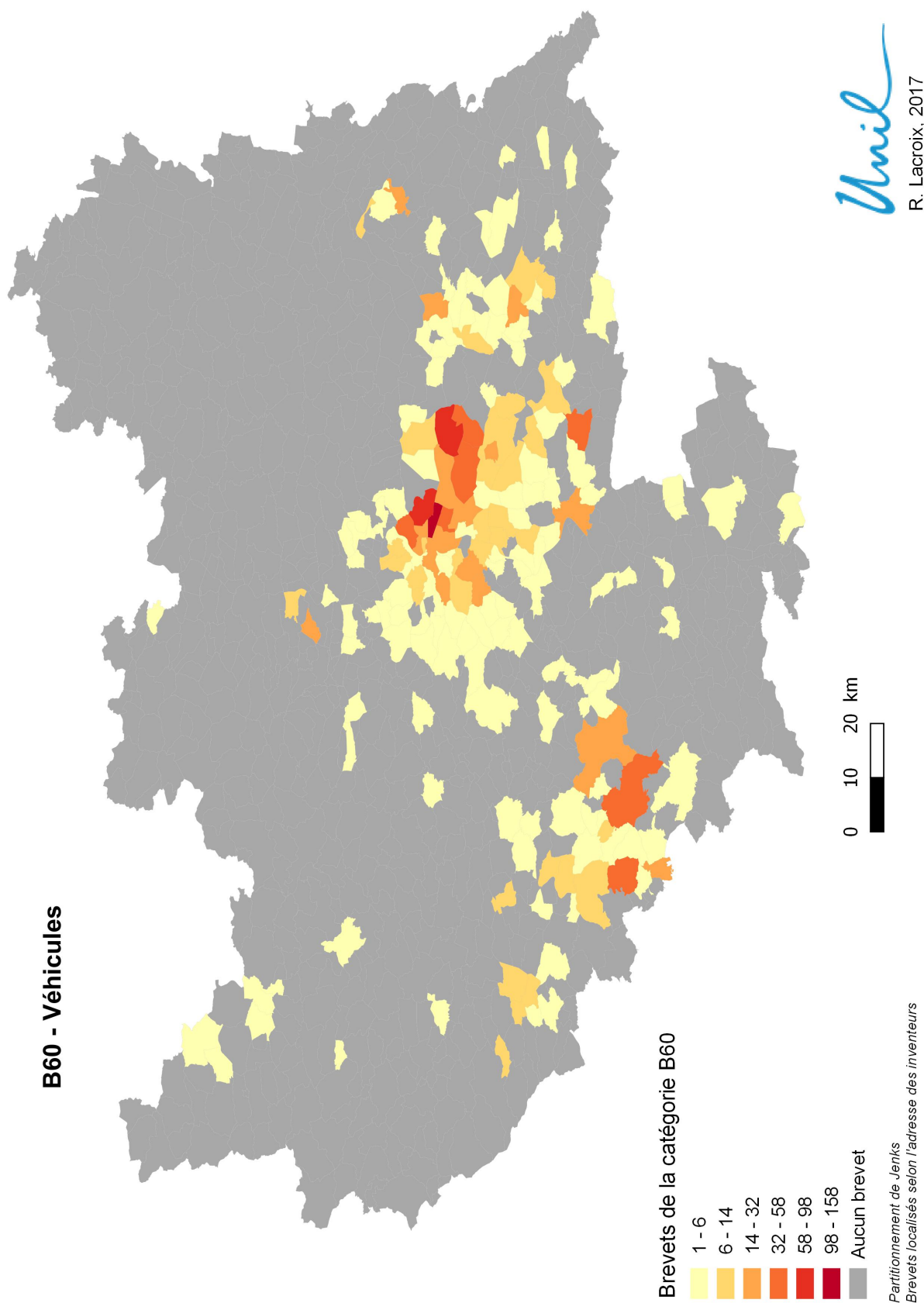


FIGURE 4.45 – Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe C07, 1978-2017

C07 - Chimie organique

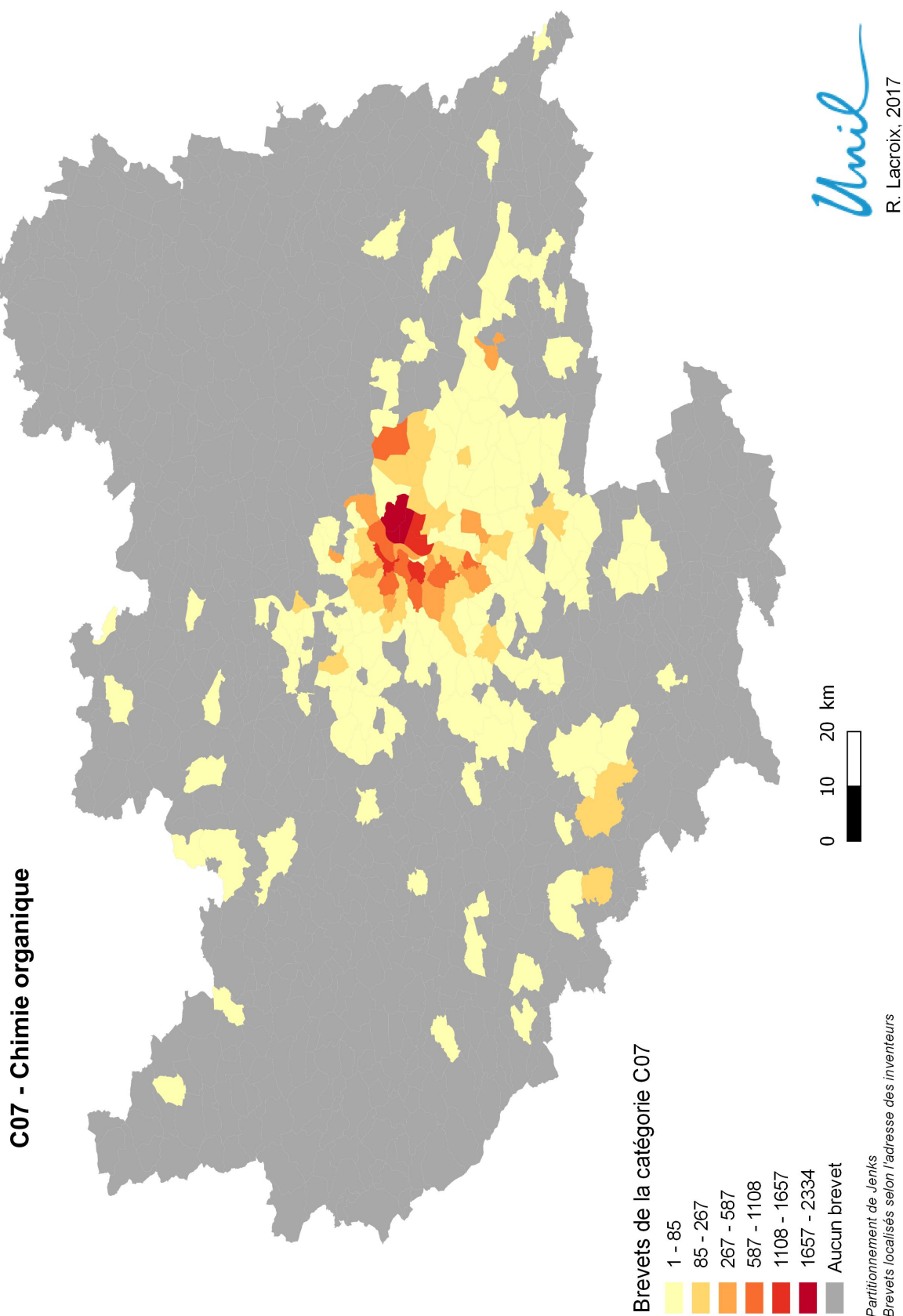


FIGURE 4.46 – Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe H01, 1978-2017

H01 - Éléments électriques fondamentaux

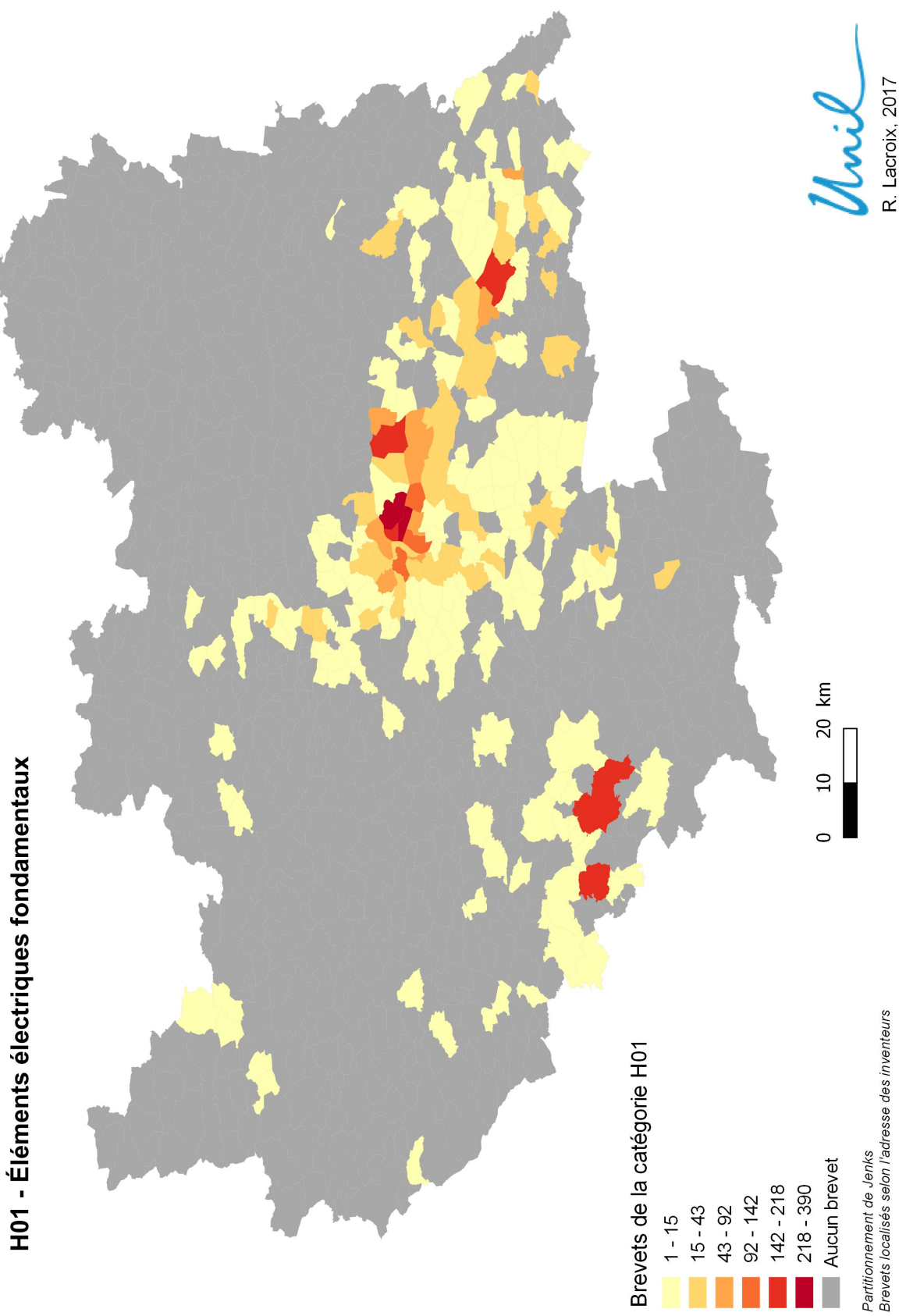
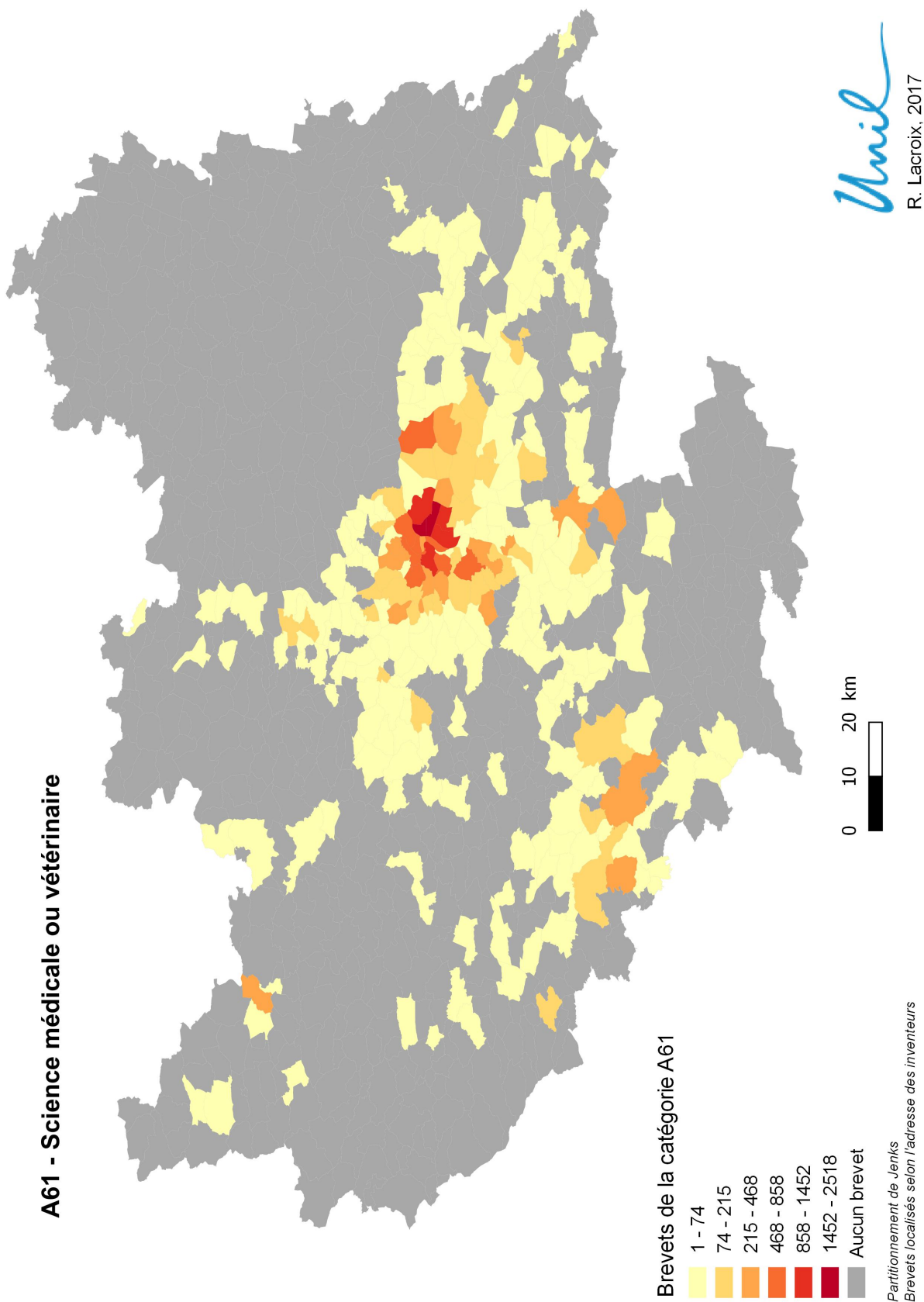


FIGURE 4.47 – Distribution spatiale dans l'aire métropolitaine lyonnaise des inventeurs de la classe A61, 1978-2017

A61 - Science médicale ou vétérinaire



Dans un second temps, on veut s'intéresser aux positions de l'aire métropolitaine lyonnaise dans les réseaux de connaissances mondiaux. On a vu précédemment les principales agglomérations partenaires de l'aire métropolitaine lyonnaise et il s'agit maintenant d'évaluer la position globale du territoire.

Cette analyse paraît être limitée par la restriction de la base de données aux seuls brevets de l'office européen. En effet, il n'est donc pas pertinent de vouloir proposer une étude globale des réseaux dans ces conditions puisque les valeurs européennes seraient alors largement sur-représentées.

En conséquence, on observe dans un premier temps le réseau de citations exclusivement européennes dans lequel on peut avoir une certaine confiance de la qualité des indices observés (Fig. 4.48).

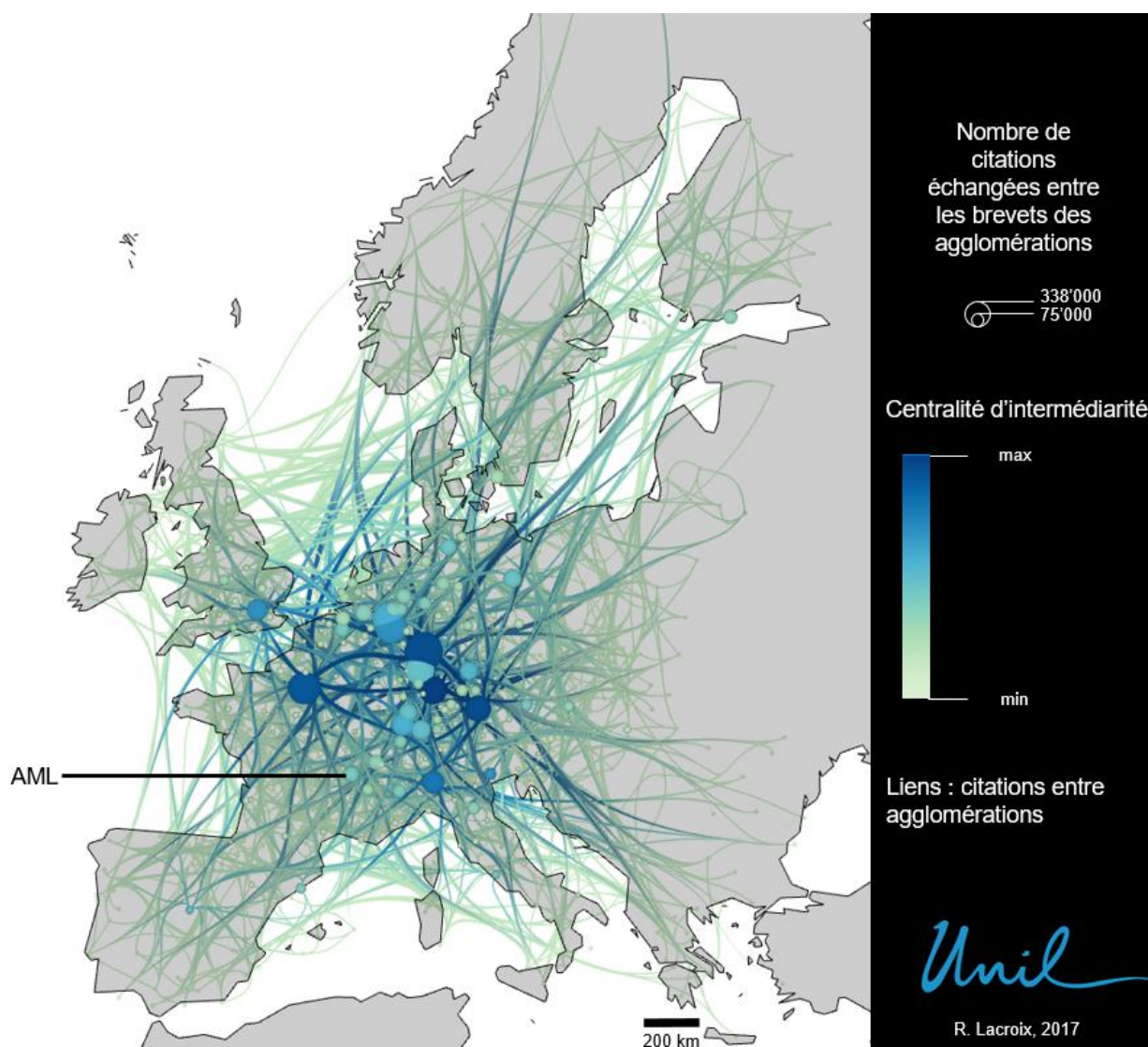
Ce réseau est construit en attribuant à chaque code NUTS3 européen une agglomération correspondante, sont ensuite sommées toutes les citations entrantes et sortantes entre 1978 et 2017 pour chaque brevet dont un inventeur est localisé dans ces agglomérations et dont le brevet citant ou cité est également dans ces agglomérations. On projette alors ce réseau selon les latitudes et longitudes. La taille des nœuds est proportionnelle au nombre de citations échangées par chaque agglomération et la couleur varie selon la centralité d'intermédiarité.

Au sein de ce réseau, l'aire métropolitaine lyonnaise ne joue pas les premières places. Elle est 15e agglomération européenne par le nombre de citations échangées, 16e par le nombre de relations différentes (degré), 16e pour ce qui est de la centralité d'intermédiarité, 14e pour le *page-rank* qui est une forme légèrement différente de centralité d'intermédiarité (Page *et al.*, 1999).

Si l'on regarde technologie par technologie, trois domaines émergent dans le classement européen du nombre de citations reçues par l'aire métropolitaine lyonnaise :

- Les technologies médicales (15e rang des agglomérations européennes);
- Les technologies environnementales (14e rang des agglomérations européennes);
- Les appareils ménagers (9e rang des agglomérations européennes).

FIGURE 4.48 – Réseau régional des citations entre brevets européens, hors Russie et Turquie, 1978-2017



4.2.3 Corrélations entre les proximités

Afin de clôturer cette partie, il convient de présenter quelques relations entre les observations produites.

Au niveau des inventeurs, on calcule la corrélation entre les degrés des noeuds des différents réseaux obtenus compte tenu de leur proximité sociale, technologique, géographique et organisationnelle. On trouve ainsi la matrice de corrélation suivante présentée dans le tableau 4.16 (tous les chiffres présentés sont significatifs à 99.9%)

Tableau 4.16 – Matrice de corrélation entre les proximités appliquées aux inventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1978-2017

	Degré prox. org.	Degré prox. soc.	Degré prox. tech.	Degré prox. geo.
Degré prox. org.	1	0.3898944	0.4328799	0.1837861
Degré prox. soc.	0.3898944	1	0.5800364	0.1282930
Degré prox. tech.	0.4328799	0.5800364	1	0.1562661
Degré prox. geo.	0.1837861	0.1282930	0.1562661	1

Il apparaît alors qu'il existe des relations positives et relativement importantes entre les proximités organisationnelle, sociale et technologique pour ce qui est des relations entre inventeurs. Cependant, la proximité géographique ne paraît avoir qu'une influence plus limitée dans le partenariat entre inventeurs.

Afin d'étudier ces combinaisons avec des méthodes plus sophistiquées, il avait été prévu d'utiliser une régression sur les données dyadiques qui ne sont pas indépendantes par la méthode QAP (*Quadratic Assignment Procedure*) développée par Krackardt (1987) inspirée de Mantel (1967) et Hubert Schultz (1976). Cette méthode réalise un certain nombre significatif de permutations préservant les structures de la matrice représentant le réseau. La fonction compare alors des matrices carrées de taille N identiques, permute les matrices (l'ordre des nœuds) d'un nombre maximal choisi N! et le résultat est une fonction de distribution de la distribution de la corrélation entre les deux matrices.

Au-delà des problèmes inhérents à la réalisation de matrices carrées dans notre cas, le principal écueil reste computationnel. Avec 4 matrices à comparer entre elles, on a alors 6 régressions différentes à réaliser, cela pour nos réseaux de 11'852 inventeurs. En sachant que sur mon équipement une régression entre deux matrices de 300 nœuds avec 1'000 permutations a pris plus d'une demi-heure à fournir un résultat et compte tenu de la croissance exponentielle du nombre de calculs à réaliser lors de l'augmentation de la taille des matrices, cette technique dont la significativité maximale s'obtenait au bout de 5.7^{43137} permutations a été malheureusement abandonnée.

4.3 Dynamiques d'évolution des proximités dans les réseaux de connaissances de l'aire métropolitaine lyonnaise

Maintenant que les importances relatives des proximités sur la création de liens de collaboration ont été étudiés, de même que leurs structures et interrelations, il convient de considérer leur nature dynamique.

Si nos résultats viennent confirmer les preuves empiriques suggérant que les différents types de proximité ont une incidence sur la création de lien de connaissances (Jaffe *et al.*, 1993 ; Breschi & Lissoni, 2003 ; Thompson & Fox-Kean, 2005 ; Cantner & Graf, 2006), il s'agit maintenant d'observer l'évolution des influences de ces proximités dans le temps, puisque Balland *et al.* (2013) ont établis que l'impact des proximités sur l'évolution du réseau de collaboration n'est pas constant dans le temps.

La littérature sur les réseaux de collaboration indique par ailleurs qu'une très bonne connaissance des partenaires potentiels réside dans le réseau des liens de collaboration antérieurs (Gulati, 1995 ; Sorenson *et al.*, 2006). Ainsi, les inventeurs sont fortement enclins à se connecter aux partenaires de leurs partenaires. Il en résulte que les réseaux observent une tendance à la « fermeture triadique », c'est-à-dire que les partenaires des partenaires se connectent entre eux, fermant une « triade » (un ensemble de trois nœuds) dans le réseau. Cette perspective théorique prédit que l'évolution de ces réseaux est ainsi *path dependent*, puisque la structure antérieure du réseau détermine largement comment le réseau va évoluer.

Comme défini dans la section 3.3, nous considérerons pour notre étude de la dynamique 4 périodes temporelles :

- 1980-1987
- 1988-1995
- 1996-2003
- 2004-2012

4.3.1 Évolution des proximités

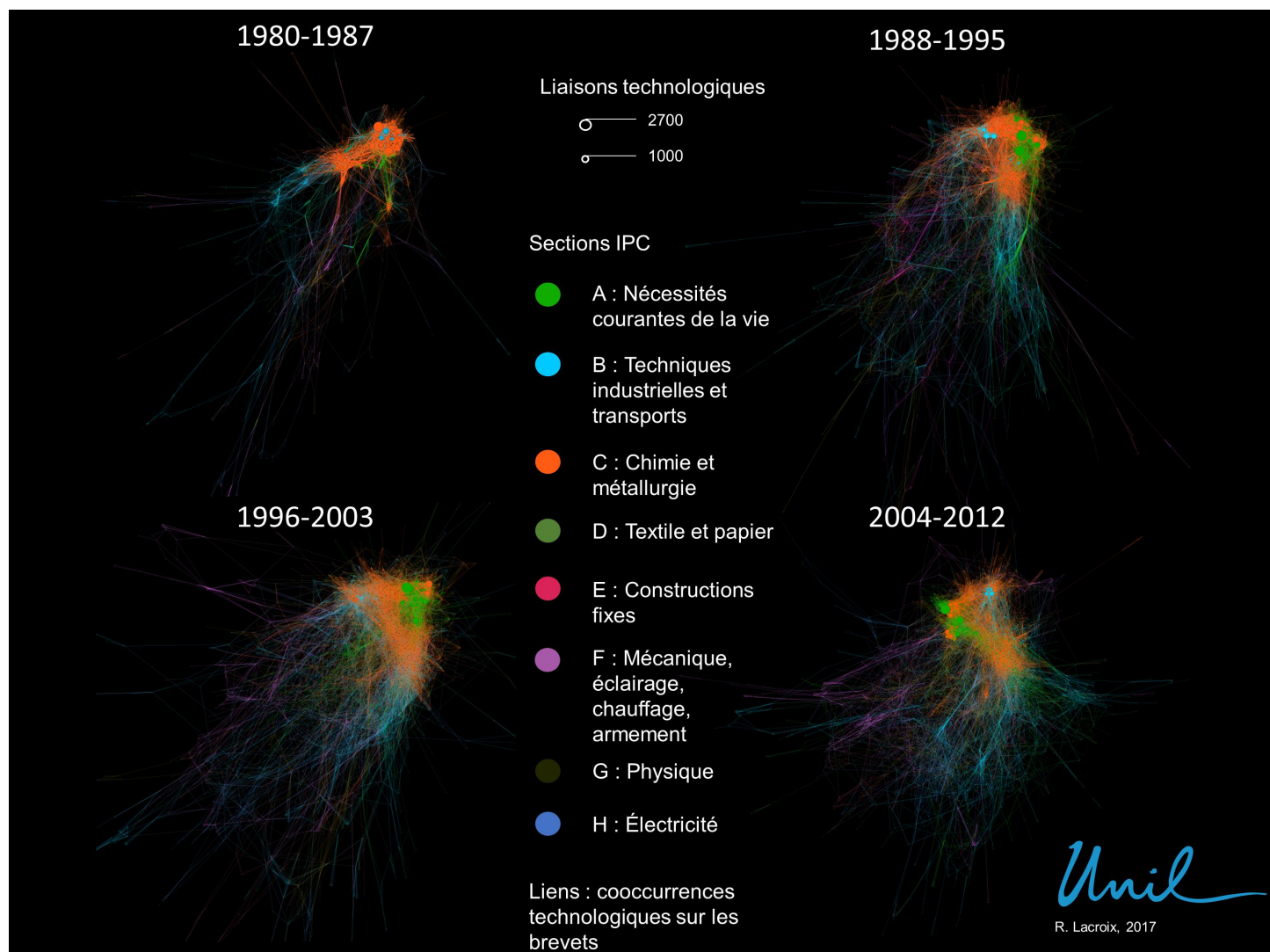
Dans un premier temps, on va s'attacher à observer l'évolution générale des réseaux de proximité constitués. Pour cela, on segmente notre fichier de base selon les périodes définies puis on réalise un certain nombre d'analyses globales des réseaux qui nous permettent de juger de leurs évolutions.

4.3.1.a Évolution de la proximité technologique

Commençant par la proximité technologique, on peut étudier comment évolue cet espace technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise entre 1980 et 2012. On modélise alors nos quatre réseaux correspondant à nos quatre périodes. Ceux-ci sont représentés sur la figure 4.49.

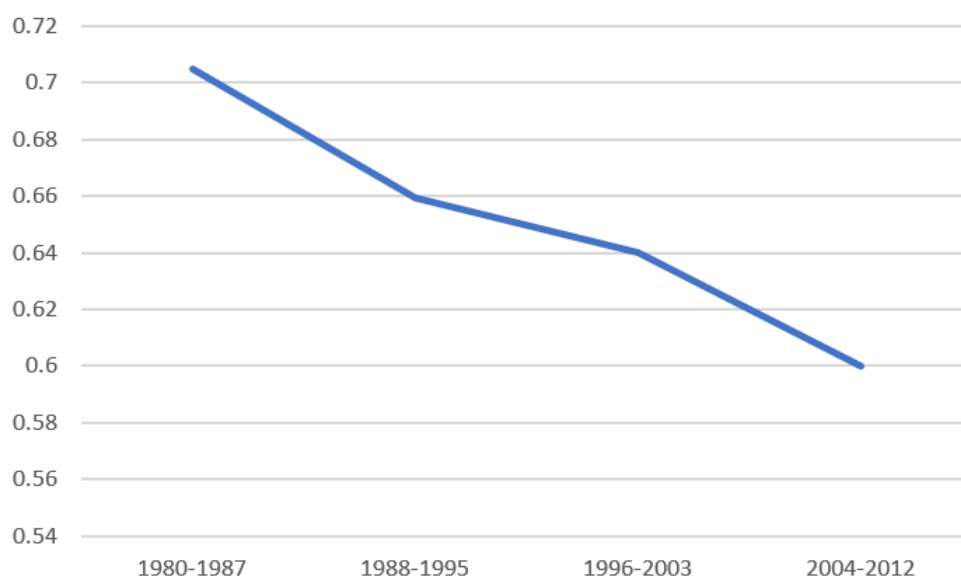
Le premier élément d'intérêt est le nombre de technologies. Entre la première et la dernière période, le nombre de technologies brevetées dans l'aire métropolitaine lyonnaise a augmenté de 39% passant de 1690 à 2573. On note particulièrement qu'entre les 3e et 4e périodes, si le nombre global de technologies augmente, les liens entre elles eux diminuent puisqu'on passe d'un degré moyen de 12.6 à 9.7.

FIGURE 4.49 – Évolution du réseau de proximité technologique dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



Globalement, on a un déclin continu de la transitivité des réseaux de proximité technologiques au fil du temps. La transitivité est comme on l'a vu également une façon de mesurer la fermeture triadique. Aussi, comme on peut l'observer sur le graphique de la figure 4.50, le pourcentage de fermeture triadique passe de 70% à environ 60%.

FIGURE 4.50 – Évolution de la fermeture triadique dans le réseau technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



R. Lacroix, 2017

Cela nous amène à penser que les technologies liées ont tendance à moins être clustérisées. À l'inverse, la moyenne des plus courts chemins entre technologies diminue constamment passant de 5.02 à 4.38. On est donc face à une situation paradoxale où les technologies se lient de moins en moins au sein de *clusters*, mais sont toutefois en moyenne de plus en plus proches.

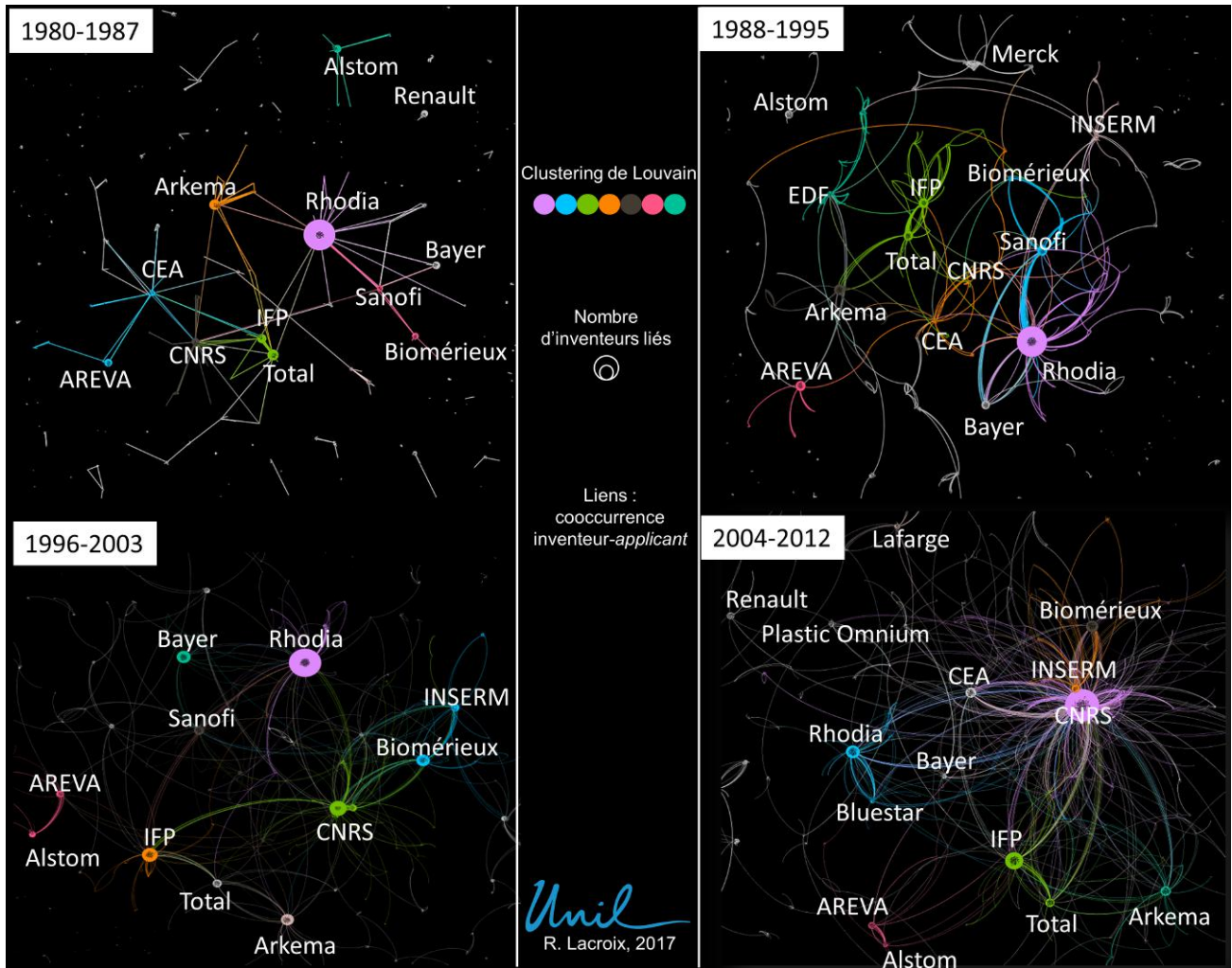
4.3.1.b Évolution de la proximité organisationnelle structurelle

Dans le cadre de la proximité organisationnelle définie ici par l'appartenance d'un inventeur à une organisation, on constate une multiplication des organisations participant au brevetage. Celles-ci passent en effet de 731 organisations pour la période 1980-1987 à 1807 pour la période 2004-2012. Cela se traduit par un graphe beaucoup plus fourni comme on peut l'observer sur la figure 4.51. Sur cette figure représentant l'évolution de la proximité organisationnelle entre les 4 périodes, on a colorié les nœuds selon un clustering de Louvain et adapté leur taille proportionnellement au degré pondéré de chaque acteur. Les échelles sont différentes entre les périodes. La taille de la plus grande composante (comprenant donc des inventeurs et des organisations) passe de 851 acteurs pour la première période à 3916 pour la dernière ce qui renvoie là aussi à l'idée d'une augmentation du nombre d'acteurs.

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

On y observe également davantage de liens entre organisations, signe que les inventeurs contemporains sont plus mobiles professionnellement que dans les années 1980.

FIGURE 4.51 – Évolution du réseau de proximité organisationnelle structurelle dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



4.3.1.c Évolution de la proximité sociale

Afin d'étudier maintenant la dynamique de la proximité sociale dans l'aire métropolitaine lyonnaise, on segmente notre réseau de la même façon selon les quatre périodes indiquées. La figure 4.51 représente la proximité sociale pour chacune des périodes, soit la collaboration entre inventeurs sur un même brevet. Les nœuds sont représentés selon un *clustering* de Louvain pour leurs couleurs et selon leurs degrés pondérés pour leurs tailles, chacun de ces deux paramètres changeant au fil des périodes considérées.

Le tableau 4.17 considère les mesures globales de ces réseaux de proximité sociale. Le nombre de nœuds – soit les inventeurs – est ici multiplié par 3 entre 1980-1987 et 2004-2012. À titre de comparaison, sur la même période, la population n'a été multipliée que par 1.25. Le nombre de relations – soit les collaborations entre inventeurs – augmente également, mais proportionnellement moins fortement, ce que démontrent les densités des réseaux qui sont divisées par 1.7 entre 1980-1987 et 2004-2012. Ainsi, les inventeurs sont plus nombreux, mais globalement moins liés. Cependant, pris individuellement, les inventeurs ont plus de relations puisque le degré moyen augmente dans le même temps. On peut alors conclure par la fermeture triadique qui s'affaiblit comme le montre la transitivité passant de 0.79 à 0.75 : les triades d'inventeurs sont alors proportionnellement moins nombreuses.

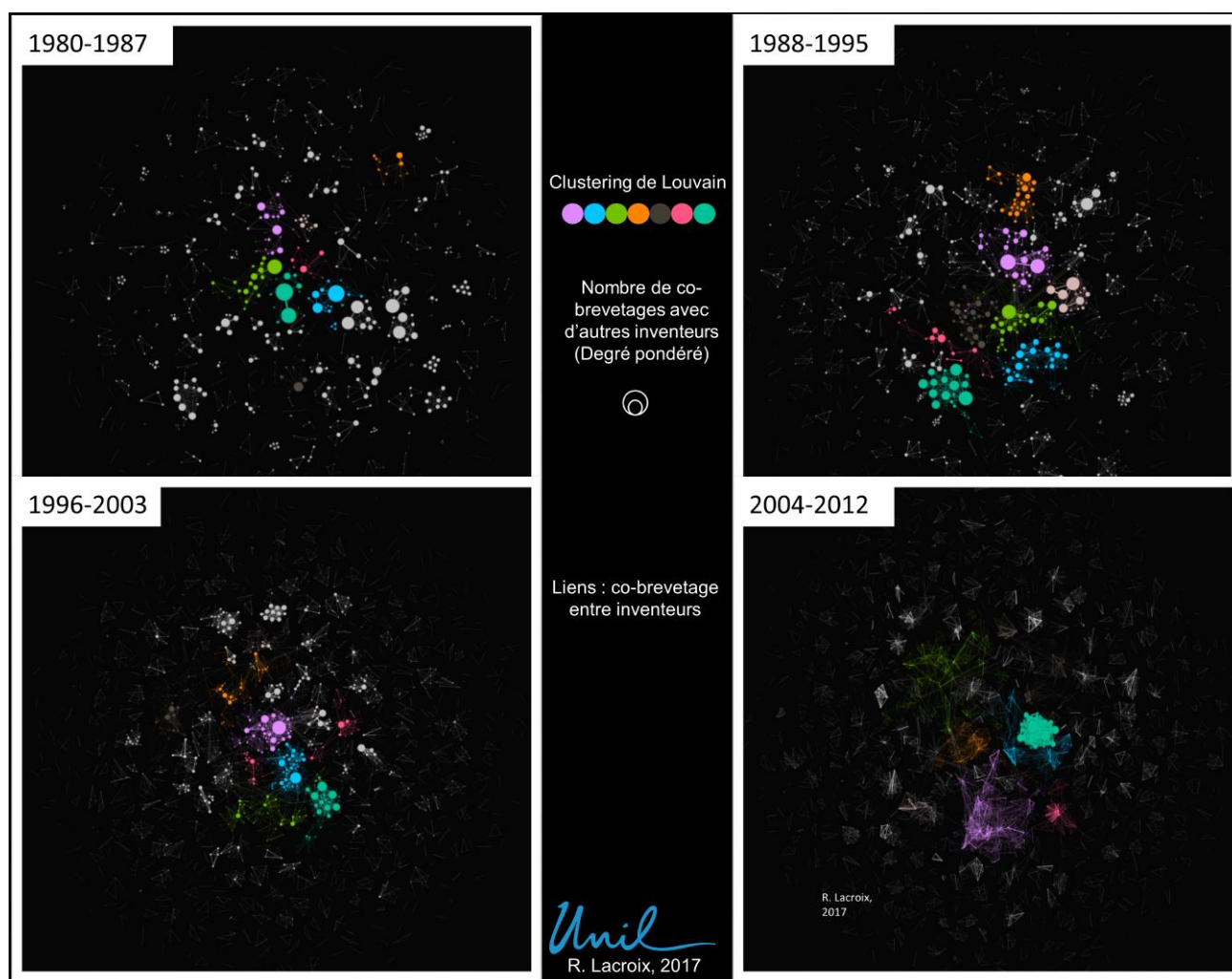
Aussi, la distance entre inventeurs sur le réseau social double, passant de 4.4 à 9.2. On a donc un cloisonnement plus important des inventeurs au cours du temps.

Tableau 4.17 – Statistiques descriptives du réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

	1980-1987	1988-1995	1996-2003	2004-2012
Nœuds	1773	2906	3906	5414
Liens	1334	2970	4256	7124
Densité	0.00084921	0.00070363	0.00055806	0.00048618
Degré moyen	1.505	2.044	2.179	2.632
Transitivité	0.7917104	0.7633277	0.7634145	0.7478777
Plus courts chemins	4.357926	6.495847	7.926777	9.193323

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

FIGURE 4.52 – Évolution du réseau de proximité sociale dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



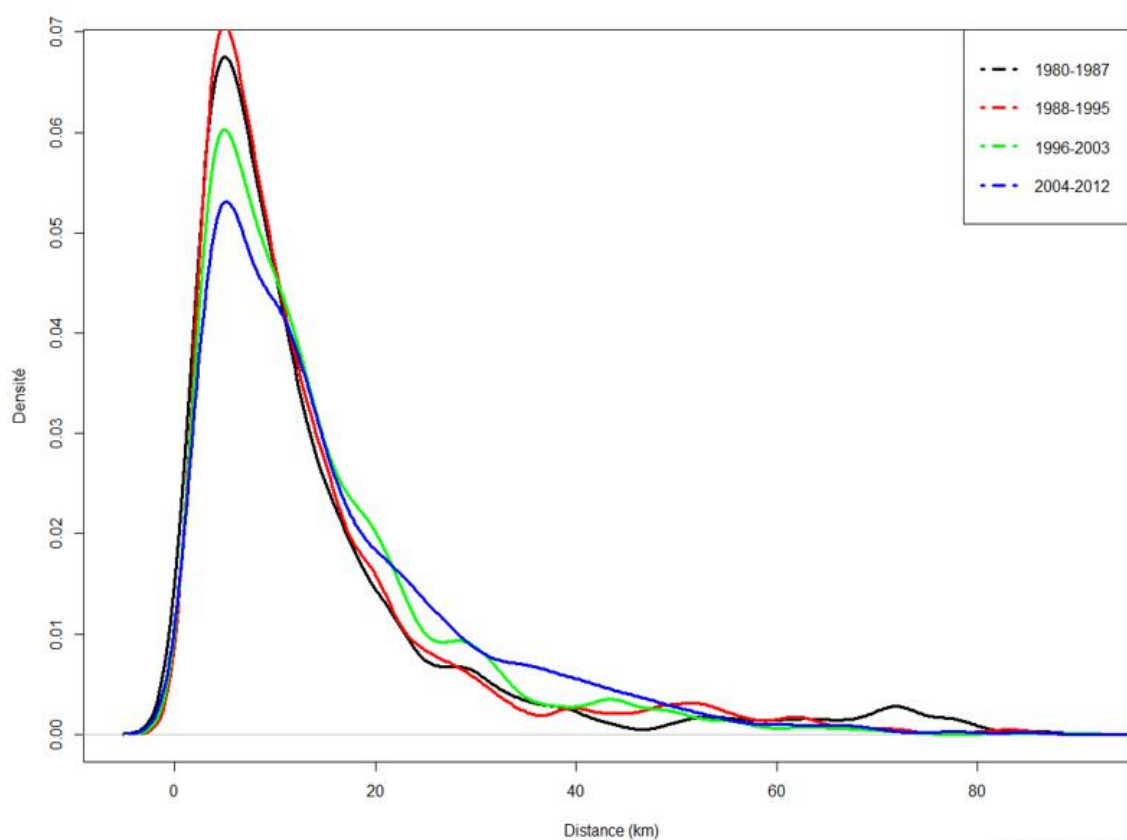
4.3.1.d Évolution de la proximité géographique

Dans le cadre de la proximité géographique, on peut de façon globale apprécier l'évolution des distances entre inventeurs.

À cet effet, on prend le réseau de collaborations entre inventeurs pour chaque époque et on attribue les communes de résidence des inventeurs. À partir de la matrice des distances entre communes réalisée précédemment, on peut alors obtenir pour chaque période le profil de la distance euclidienne de collaboration.

Les profils pour chaque période sont représentés sur la figure 4.53. On peut y voir globalement une certaine déconcentration spatiale à partir de la troisième période soit 1996. En effet, sur la première et la deuxième période, on a une densité très importante de collaborations autour de 15 km. Cette densité diminue dans les troisième et quatrième périodes ainsi que nous le montre le pincement de la courbe qui s'atténue et le nombre plus important de collaborations entre 20 et 50 km que dans les autres périodes.

FIGURE 4.53 – Profil de la distance géographique entre les coinventeurs de l'aire métropolitaine lyonnaise pour chaque période , 1980-2012



R. Lacroix, 2017

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

On peut conjecturer plusieurs idées pour expliquer ces mesures. D'abord on peut penser simplement qu'il s'agit d'un effet dû à la croissance spatiale des villes et à la périurbanisation qui de fait éloigne en moyenne les lieux de résidence des inventeurs.

Toutefois, comme nous l'avons précédemment observé sur la carte de répartition géographique des inventeurs, ceux-ci se concentrent principalement en centre-ville. On est alors en droit d'émettre l'hypothèse de davantage d'intégration régionale et de liens interurbains, notamment par exemple entre Lyon et Saint-Étienne (45-50 km).

4.3.1.e Co-évolutions des proximités

On va pour finir tester la coévolution des réseaux de proximité, puisqu'on peut penser que de nombreuses structures internes des réseaux d'innovations sont interreliées et qu'ils doivent donc évoluer ensemble (Broekel, 2015). Pour cela, on compare alors l'évolution des corrélations entre nos réseaux d'inventeurs basés sur leurs proximités organisationnelles, sociales, technologiques et géographiques. Les corrélations sont des tests de Pearson sur les degrés de ces inventeurs (Tab. 4.18).

Tableau 4.18 – Corrélations des réseaux de proximité de l'aire métropolitaine lyonnaise par période, 1980-2012

1980-1987

	Degré prox. org.	Degré prox. soc.	Degré prox. tech.	Degré prox. geo.
Degré prox. org.	1	0.2722018	0.4877977	0.07966408
Degré prox. soc.	0.2722018	1	0.3016172	0.1220205
Degré prox. tech.	0.4877977	0.3016172	1	0.0406278
Degré prox. geo.	0.07966408	0.1220205	0.0406278	1

1988-1995

	Degré prox. org.	Degré prox. soc.	Degré prox. tech.	Degré prox. geo.
Degré prox. org.	1	0.3041105	0.4927765	0.1409167
Degré prox. soc.	0.3041105	1	0.4900171	0.1297031
Degré prox. tech.	0.4927765	0.4900171	1	0.1255994
Degré prox. geo.	0.1409167	0.1297031	0.1255994	1

1996-2003

	Degré prox. org.	Degré prox. soc.	Degré prox. tech.	Degré prox. geo.
Degré prox. org.	1	0.4203429	0.4027153	0.1813218
Degré prox. soc.	0.4203429	1	0.534988	0.120373
Degré prox. tech.	0.4027153	0.534988	1	0.1620475
Degré prox. geo.	0.1813218	0.120373	0.1620475	1

2004-2012

	Degré prox. org.	Degré prox. soc.	Degré prox. tech.	Degré prox. geo.
Degré prox. org.	1	0.3197421	0.3302873	0.1911162
Degré prox. soc.	0.3197421	1	0.5734581	0.0923534
Degré prox. tech.	0.3302873	0.5734581	1	0.1147666
Degré prox. geo.	0.1911162	0.0923534	0.1147666	1

De ces tableaux, on peut retirer plusieurs informations très utiles. Tout d'abord, la proximité organisationnelle semble être de moins en moins influencée par la proximité technologique. Ensuite, la proximité organisationnelle est de plus en plus influencée par la proximité géographique. Enfin la proximité sociale semble être de plus en plus influencée par la proximité technologique.

De la même façon que précédemment, une méthodologie à partir de QAP-tests avait été prévue mais devant les problèmes computationnels elle a malheureusement dû être abandonnée.

4.3.2 Évolution des positions et collaborations

Après avoir mis en lumière les dynamiques globales des réseaux de proximité, il convient maintenant d'analyser les dynamiques « locales » de ces réseaux, à savoir l'évolution des collaborations et des positions des acteurs.

4.3.2.a Évolution des positions et collaborations technologiques

Tout d'abord, étudions finement les évolutions des nœuds et liens technologiques en vue d'en dégager les dynamiques spécifiques.

Le tableau 4.19 indique les liens technologiques les plus importants pour chaque période (entre « code 1 » et « code 2 » renvoyant à des technologies identifiables). La première période s'étendant de 1980 à 1987 montre que les technologies chimiques prédominent avec un fort accent sur la préparation d'esters d'acides carboxyliques (C07C067), notamment liée à l'industrie pétrochimique. La deuxième période voit l'émergence de l'industrie pharmaceutique (A61K) et de la chimie organique qui lui est liée (C07K014 par exemple). La troisième période se caractérise par une certaine continuité avec la deuxième puisqu'on y retrouve les mêmes technologies occupant les premières places. La quatrième et dernière période a pour traits principaux l'émergence de l'industrie des biocides (A01N) et la fabrication et la manipulation de polymères.

Tableau 4.19 – Principaux liens entre technologies par période dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

1980-1987		1988-1995		1996-2003		2004-2012	
Code 1	Code 2	Code 1	Code 2	Code 1	Code 2	Code 1	Code 2
C07C049	C07C045	C07K014	A61K039	C12N015	C07K014	C07D040	A01N043
C08K005	C08L083	C07K014	C12N015	A61K039	C07K014	C07D023	A01N043
C07C067	C07C045	A61K031	C07D040	C12N015	A61K039	B01J037	B01J023
C07C067	B01J031	A61K008	A61Q019	A61Q001	A61K008	C07K014	C12N015
C07C041	C07C043	C07D023	C07D040	A61K039	A61P031	C07D040	C07D041
C07C067	C07C069	A61K008	A61K047	A61K031	C07C031	C07K014	A61K039
C07C067	C07B061	A61K039	C12N015	A61K031	C07D021	C07D041	A01N043
C07B061	B01J031	A61K039	A61P031	A61Q019	A61K008	A61K039	C12N015
C07C020	C07C021	C07K014	A61P031	A61K009	A61K047	A01N043	A01N047
C07C031	C07C032	C08K005	C08L083	A61K031	C07D023	C07D021	A01N043

De ces relations entre technologies qui créent notre proximité, on peut également étudier la variation dans la typologie des relations proposée précédemment qui va nous permettre de qualifier la variété comme reliée (*related variety*), non reliée (*unrelated variety*) ou semi-reliée (*semi-related variety*). Le résultat de ces évolutions est répertorié dans le tableau 4.20.

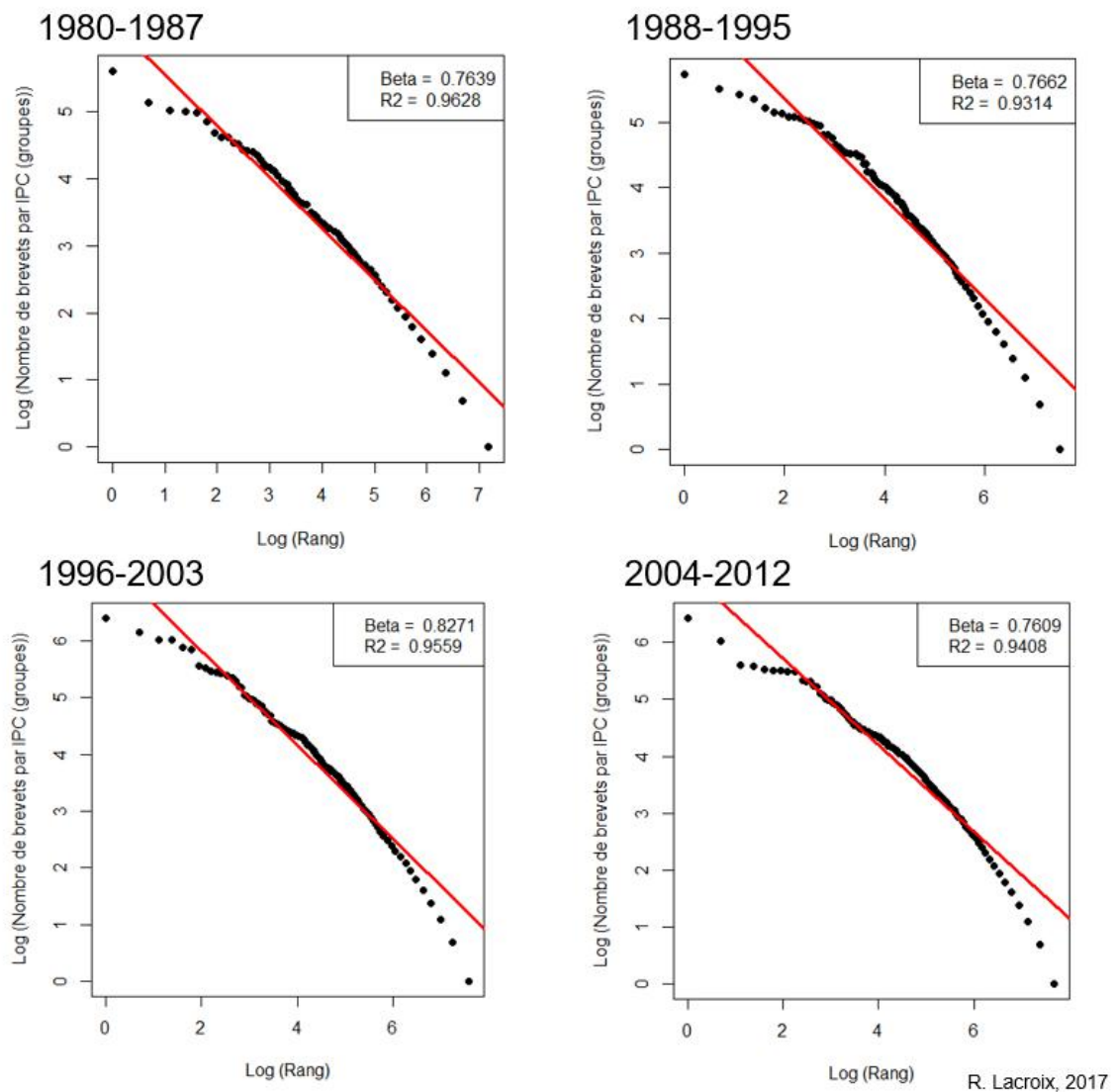
Tableau 4.20 – Évolution du type de variété par période dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

	1980-1987	1988-1995	1996-2003	2004-2012
Type de variété	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio
<i>RELATED</i>	42.7%	39.9%	37.9%	39.9%
<i>SEMI-RELATED</i>	19.9%	18.4%	18.3%	19.9%
<i>UNRELATED</i>	37.4%	41.7%	43.8%	40.2%
Total général	100%	100%	100%	100%

On remarque alors une grande stabilité dans les proportions entre les trois types de variété : autour de 40% pour la *related* et l'*unrelated variety* et autour de 20% pour la *semi-related variety*. On en déduit donc qu'un équilibre entre ces trois types de variété est sans doute nécessaire au système d'innovation : avec un peu de « science normale » (*related variety*), un peu d'innovations radicales (*unrelated variety*) et un peu d'entre-deux (*semi-related variety*).

L'évolution de la distribution hiérarchique des technologies représentée sur la figure 4.53 indique également une certaine stabilité avec un facteur β aux alentours de 0.76 soit une distribution plus égalitaire qu'une loi de Zipf. On note cependant une hausse de la hiérarchisation entre la deuxième et la troisième période, corrigée lors du passage de la troisième à la quatrième période.

FIGURE 4.54 – Évolution de la distribution hiérarchique du nombre de brevets par technologie dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



Enfin, on peut regarder l'entrée et la sortie de technologies dans notre réseau de proximité. On rappelle à cet égard que Neffke *et al.* (2011) ont montré que les technologies périphériques d'un système d'innovation avaient davantage tendance à disparaître et que les nouvelles technologies entrant dans le réseau se plaçaient préférentiellement près du cœur du réseau.

Afin de pouvoir observer ou non ce phénomène, on a recours à une autre mesure de la centralité des nœuds, la centralité spectrale ou de vecteur propre (*eigenvector*). Cette approche proposée par Bonacich (1972, 2007) suggère l'idée que la centralité d'un nœud soit déterminée par la centralité des nœuds auquel il est lié. Cela est donc idéal pour notre étude puisque cette mesure renvoie ici à la liaison aux technologies centrales du réseau. Le tableau 4.21 indique pour les périodes 2, 3 et 4 le nombre de technologies entrantes et sortantes et les moyennes de leurs centralités spectrales.

Tableau 4.21 – Évolution de l'entrée et de la sortie de technologies et leurs centralités spectrales dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

	1988-1995	1996-2003	2004-2012
Nombre de technologies entrantes	1033	821	822
Nombre de technologies sortantes	504	668	593
Centralité spectrale des entrées	0.0133	0.011	0.0134
Centralité spectrale des sorties	0.00579	0.00701	0.00894

On a donc des technologies entrantes dont la centralité spectrale est significativement plus élevée que celle des technologies sortantes. Cela nous permet ainsi de confirmer l'hypothèse de Neffke *et al.* (2011) stipulant que les technologies sortantes seraient à la marge et les technologies entrantes s'installeraient plus au centre du réseau technologique.

4.3.2.b Évolution des positions et collaborations dans l'espace organisationnel

On veut maintenant étudier l'évolution des collaborations et positions dans nos réseaux de proximité organisationnelle.

Pour débiter, on s'intéresse aux principales organisations employant des inventeurs par période. Le tableau 4.22 indique les cinq premiers *applicants* en nombre d'inventeurs pour chaque période et le nombre d'inventeurs pour ces organisations.

Tableau 4.22 – Principaux *applicants* en nombre d'inventeurs par période dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

1980-1987		1988-1995		1996-2003		2004-2012	
Rhodia	181	Rhodia	308	Rhodia	352	CNRS	564
Total	63	Arkema	108	CNRS	185	Université Lyon 1	381
Arkema	61	Sanofi	101	IFP	170	IFP	295
IFP	52	Areva	100	Bayer	150	Rhodia	220
Alstom	45	IFP	99	Biomérieux	145	Biomérieux	198

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Le nombre global d'inventeurs dans ces organisations a augmenté. On s'aperçoit par exemple que la première organisation entre 1980 et 1987, Rhodia, comporte moins d'inventeurs que la cinquième entre 2004 et 2012. Rhodia occupe la première place jusqu'à la quatrième période, remplacée par le CNRS qu'on voit émerger à partir de la troisième période. À cet égard, revenons notamment sur cette dernière organisation. De 43 inventeurs pour la première période, il passe à 23 inventeurs pour la seconde, 185 pour la troisième et 564 pour la quatrième. On peut y voir un effet de la loi n°82-610 du 15 juillet 1982 sur l'orientation et la programmation pour la recherche et le développement technologique en France qui, avec les nombreux décrets correctifs jusqu'en 1995, aménage la recherche publique française, créant par exemple le statut d'enseignant-chercheur. Cela explique au passage la position de l'Université Lyon 1 dans la quatrième période.

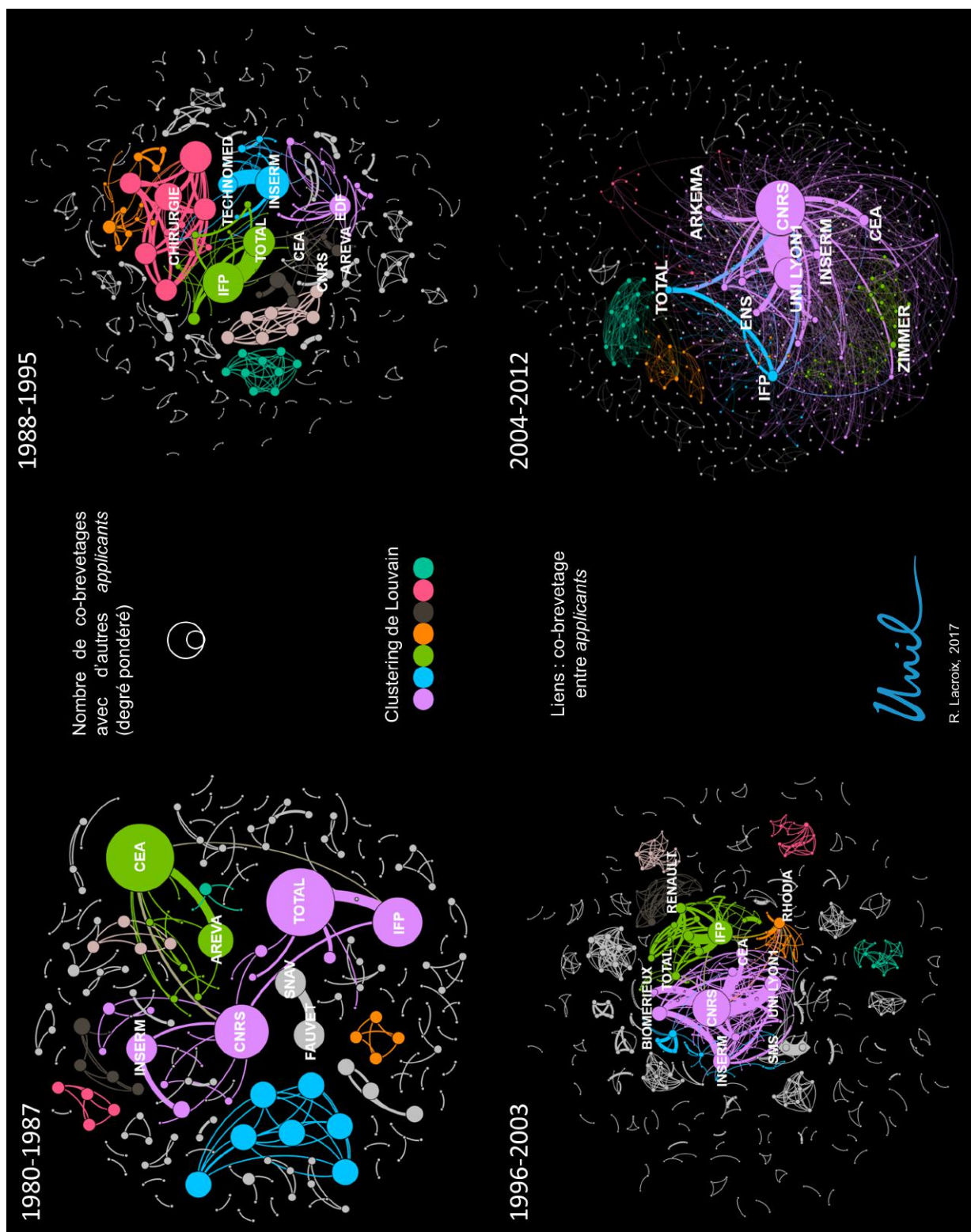
Quand on regarde à présent l'évolution du réseau de mobilité professionnelle, on s'aperçoit que les inventeurs sont de plus en plus mobiles professionnellement, en tout cas qu'ils dépendent de davantage d'organisations. En effet :

- Entre 1980 et 1987, on a 687 changements d'organisation pour 1773 inventeurs uniques soit un inventeur qui change en moyenne d'organisation 0.38 fois sur la période ;
- Entre 1988 et 1995, on a 1887 changements d'organisation pour 2906 inventeurs uniques soit un inventeur qui change en moyenne d'organisation 0.65 fois sur la période ;
- Entre 1996 et 2003, on a 3278 changements d'organisation pour 3906 inventeurs uniques soit un inventeur qui change en moyenne d'organisation 0.83 fois sur la période ;
- Entre 2004 et 2012, on a 8108 changements d'organisation pour 5414 inventeurs uniques soit un inventeur qui change en moyenne d'organisation 1.5 fois sur la période.

En ce qui concerne les collaborations entre organisations, c'est ici le cobrevetage qui est considéré. On peut déjà observer l'évolution du nombre de cobrevets qui augmente fortement, passant de 241 cobrevets pour la première période à 2545 pour la dernière. La collaboration entre organisations a donc été décuplée en une vingtaine d'années. Cela est le signe d'une volonté d'alliances et de partenariats et donc d'une meilleure confiance entre les organisations.

La figure 4.55 représente l'évolution de ces réseaux de cobrevets. Les organisations sont les nœuds représentés selon un clustering de Louvain pour leurs couleurs et selon leurs degrés pondérés pour leurs tailles.

FIGURE 4.55 – Évolution des réseaux de cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



Dans la première période ne comportant donc que 241 cobrevets, peu d'acteurs sont alors présents. Les principaux partenariats se situent entre Total et l'IFP et entre le CEA et Areva. Dans les deux cas, il s'agit d'un partenariat entre une grande entreprise nationale comportant une grande part de capitaux de l'État (Total, Areva) et un laboratoire de recherche publique (IFP, CEA). En dehors et faiblement rattaché à ces deux groupes d'acteurs, on trouve le CNRS et l'INSERM, et un partenariat dans l'industrie mécanique entre la société Fauvet et la Société Nouvelle des Ateliers de Vénissieux (SNAV).

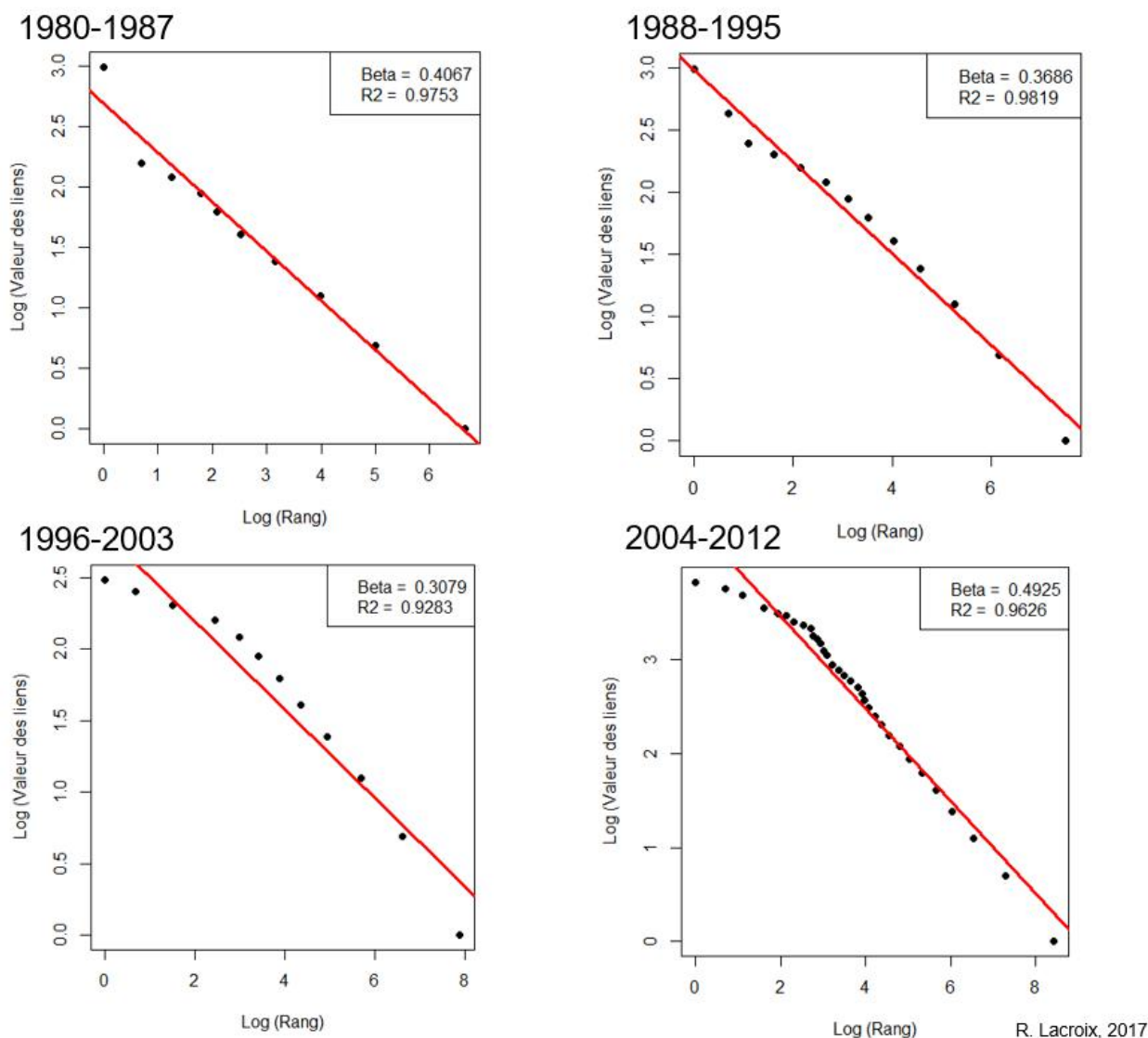
La seconde période est quant à elle marquée par le fort développement des cobrevets de techniques chirurgicales et prothèses médicales qui émergent comme un *cluster* bien identifiable. On note le fort développement de l'INSERM en relation avec Technomed, une start-up locale fondée en 1985. Parallèlement, on a l'émergence de nombreux cobrevets liant EDF. À partir de la troisième période, la recherche publique s'affirme comme le leader du partenariat dans le développement d'innovations avec la position centrale du CNRS et de l'Université Lyon 1, relié aux autres laboratoires publics comme l'INSERM, le CEA ou l'INRA. Cette position est encore accentuée dans la dernière période, dans laquelle le CNRS représente le quart de tous les cobrevets de l'aire métropolitaine lyonnaise (628 sur 2545).

4.3.2.c Évolution des positions et collaborations dans l'espace social

Dans cette troisième section, c'est l'évolution des positions et collaborations dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, soit les inventeurs, leurs positions et leurs relations qui vont nous intéresser. On a vu précédemment que le nombre d'inventeurs avait triplé et qu'il était apparu un certain cloisonnement des relations avec une baisse de la fermeture triadique et une augmentation de la moyenne des plus courts chemins, soit un éloignement global des inventeurs.

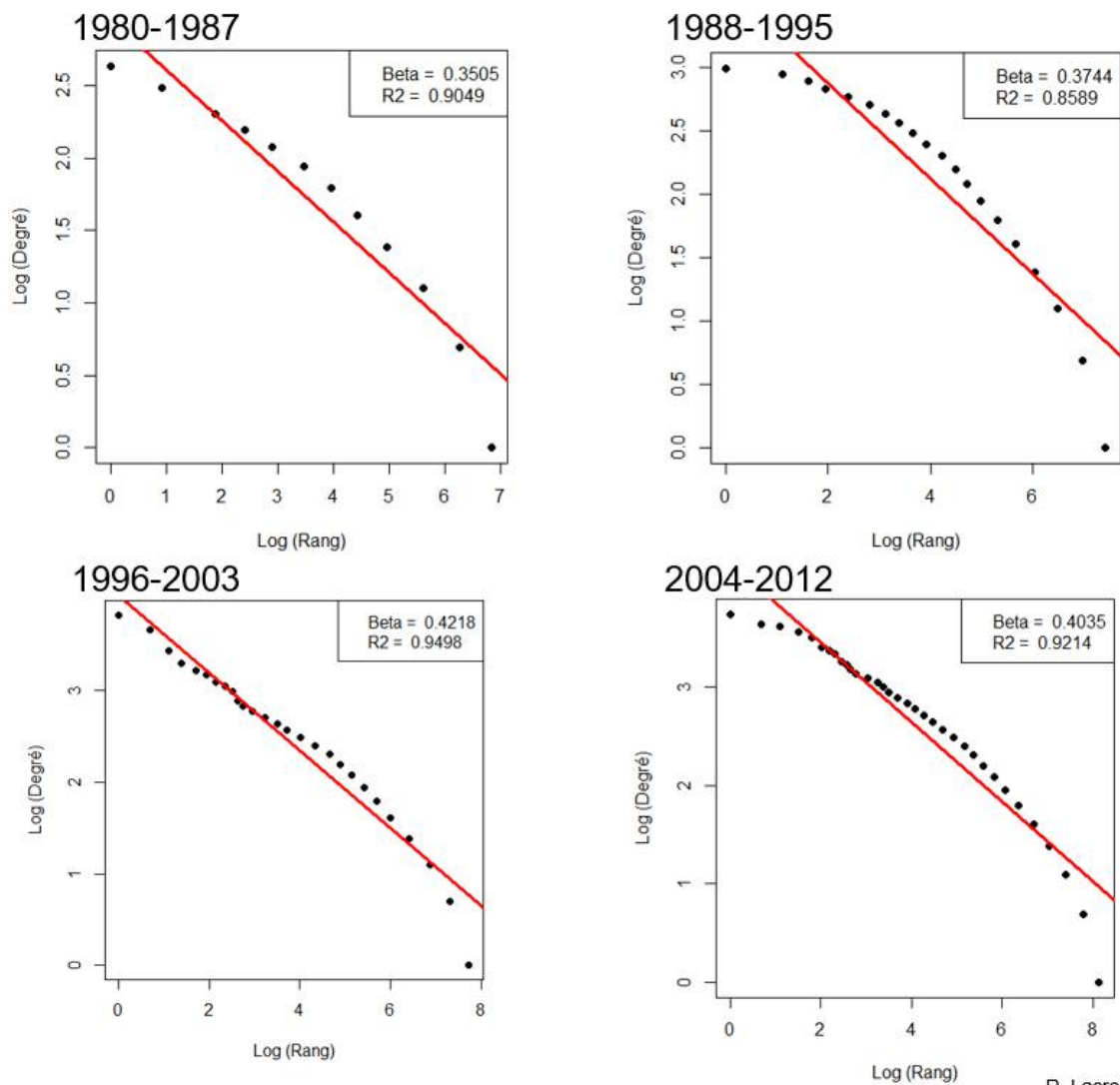
Dans un premier temps on s'intéresse alors à l'évolution de la distribution hiérarchique de la valeur des liens, soit le nombre de co-inventions entre deux inventeurs. Représentée sur la figure 4.56, il apparaît une diminution de la hiérarchie entre la première et la troisième période, suivie d'une hausse brutale de la troisième à la quatrième période. Malgré tout, le facteur de hiérarchisation reste assez faible et ainsi on peut conclure d'une hiérarchisation des relations entre inventeurs qui est relativement faible sur l'ensemble de l'étude.

FIGURE 4.56 – Évolution de la distribution hiérarchique des liens dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



Un deuxième aspect à observer parallèlement est la distribution hiérarchique des degrés. Comme on peut le voir sur la figure 4.57, il apparaît là aussi une faible hiérarchisation du nombre de degrés pour les inventeurs par leurs relations, et on peut alors confirmer l'idée de petites communautés relativement isolées, mais parfois reliées faiblement entre elles.

FIGURE 4.57 – Évolution de la distribution hiérarchique des degrés dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

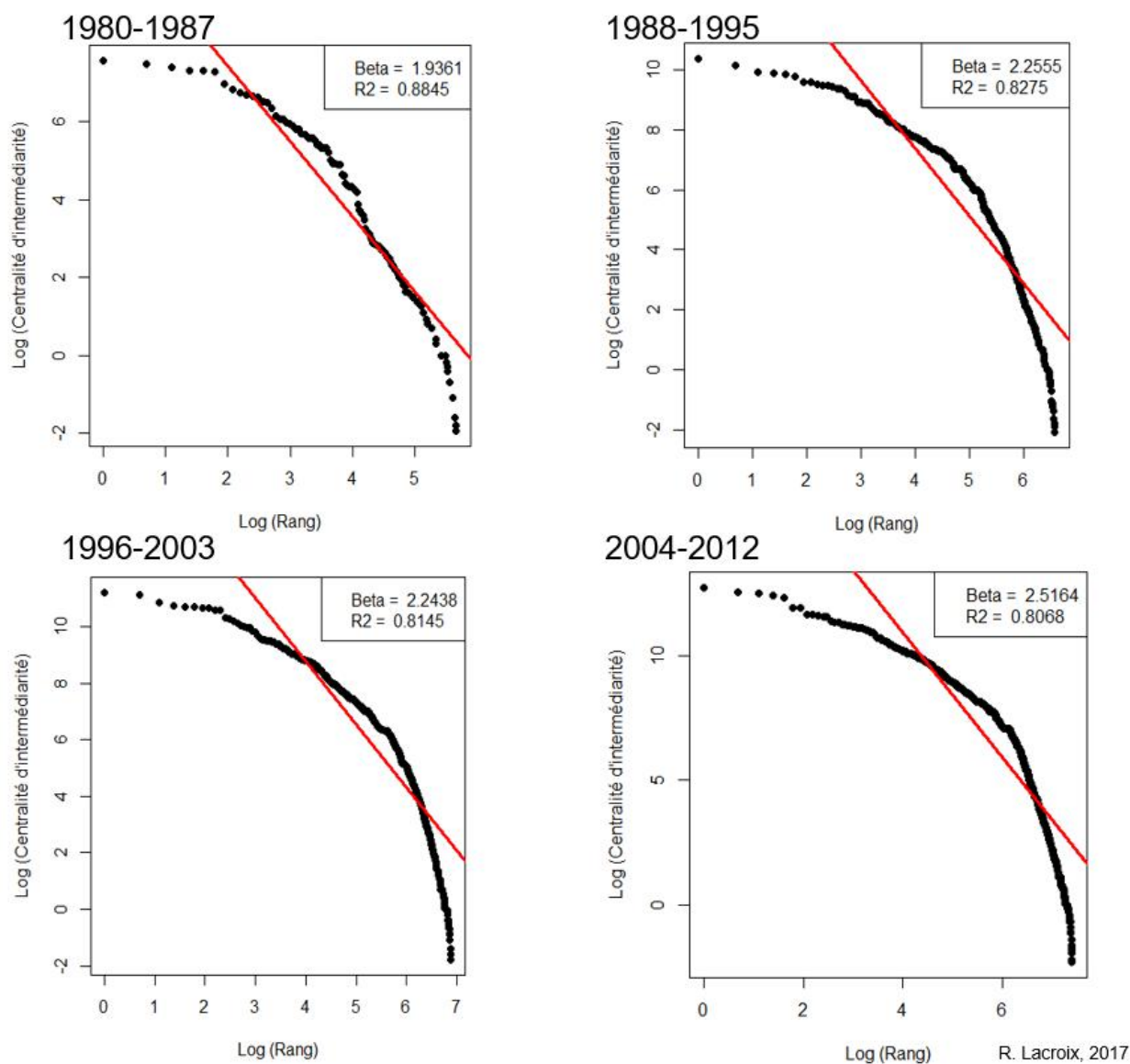


R. Lacroix, 2017

Ainsi, dans un dernier point, on s'intéresse aux inventeurs faisant le pont entre ces communautés et pour cela, nous regardons l'évolution de la distribution hiérarchique de la centralité d'intermédiarité qui est élevée pour ces inventeurs particuliers, appelés plus hauts « inventeurs stars ».

La figure 4.58 présente cette évolution et on remarque cette fois un accroissement significatif de cette hiérarchisation. En d'autres termes, les inventeurs faisant office de pont entre les communautés plus larges d'inventeurs sont proportionnellement plus rares et par conséquent voient leur centralité d'intermédiarité augmenter, ce qui accroît le facteur de hiérarchisation.

FIGURE 4.58 – Évolution de la distribution hiérarchique des centralités d'intermédiarité dans le réseau de proximité sociale de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012



4.3.2.d Évolution des positions et collaborations dans l'espace géographique

Dans une dernière partie, nous allons à présent focaliser toute notre attention sur l'évolution des collaborations au sein et à l'extérieur de l'aire métropolitaine lyonnaise et les positions qui en découlent.

On regarde tout d'abord l'évolution spatiale du cobrevetage au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise.

À travers les réseaux présentés sur les figures 4.59 à 4.62, on peut voir de façon constante la présence des pôles de Lyon et de Saint-Étienne qui concentrent la majorité des cobrevets sur toutes les périodes confondues. Vient ensuite Bourgoin-Jallieu qui est présent sur les quatre périodes. Roanne paraît être principalement liée au pôle lyonnais, mais par intermittence, n'étant pas représentée lors de la seconde période et presque inexistante lors de la quatrième. Le pôle de Bourg-en-Bresse apparaît lui lors de la troisième période où il est fortement lié au pôle lyonnais et se renforce lors de la quatrième période.

FIGURE 4.59 – Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-1987

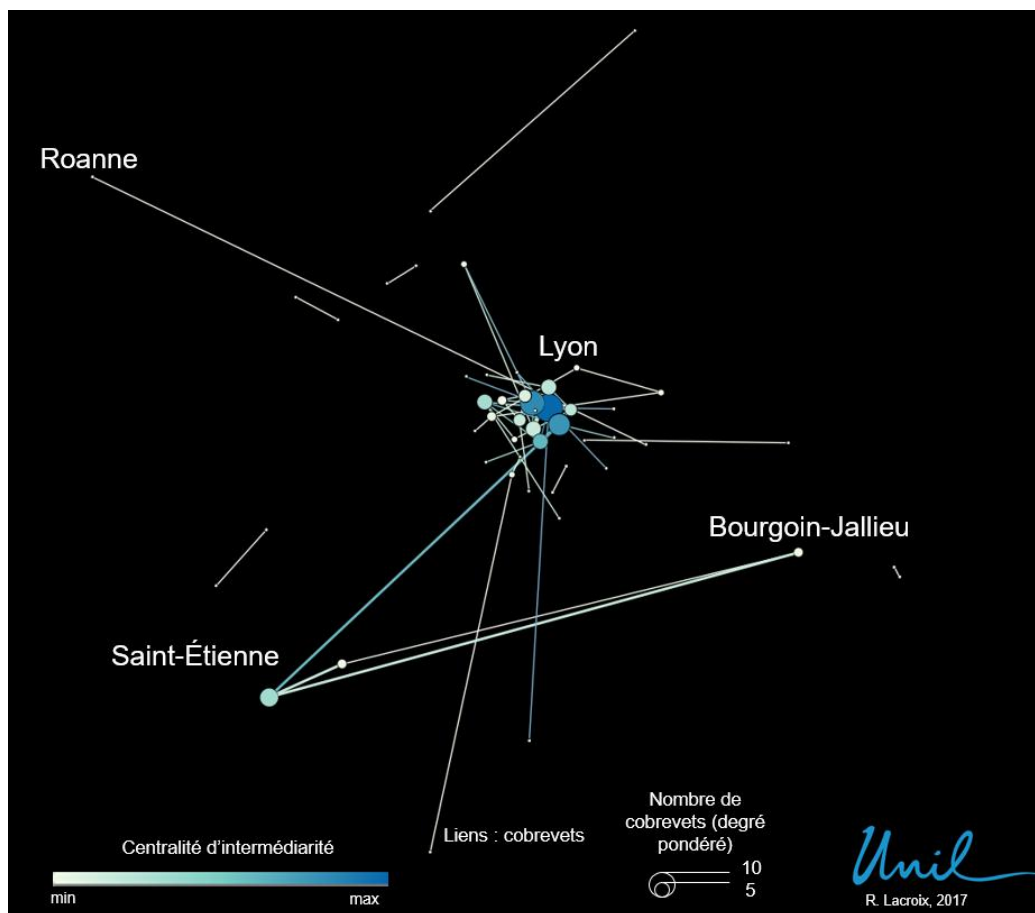


FIGURE 4.60 – Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1988-1995

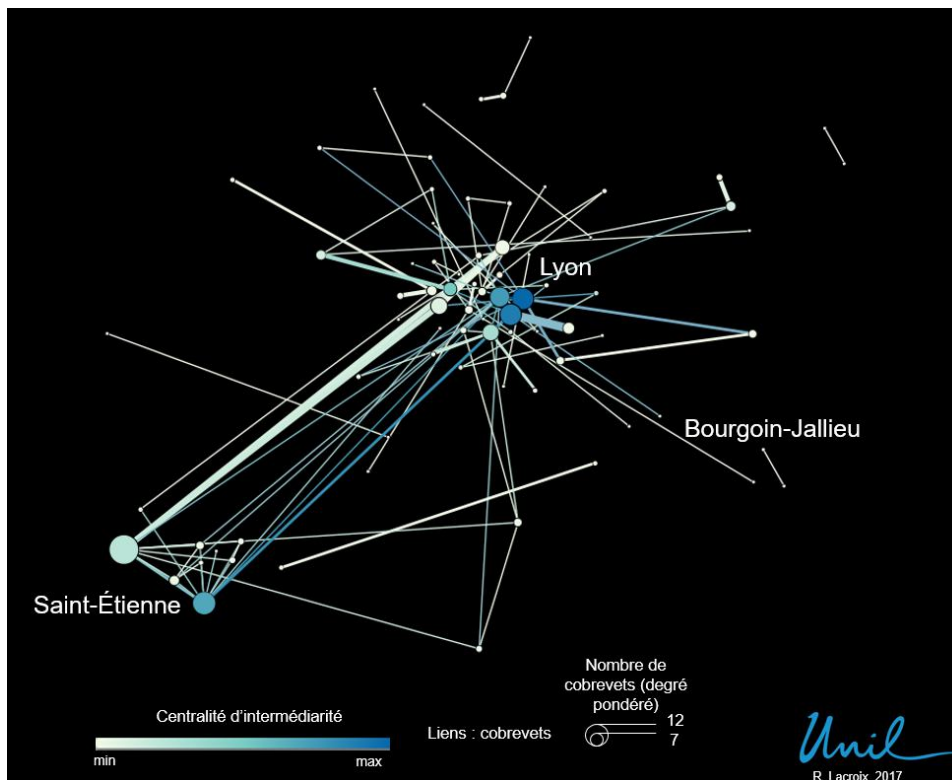


FIGURE 4.61 – Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 1996-2003

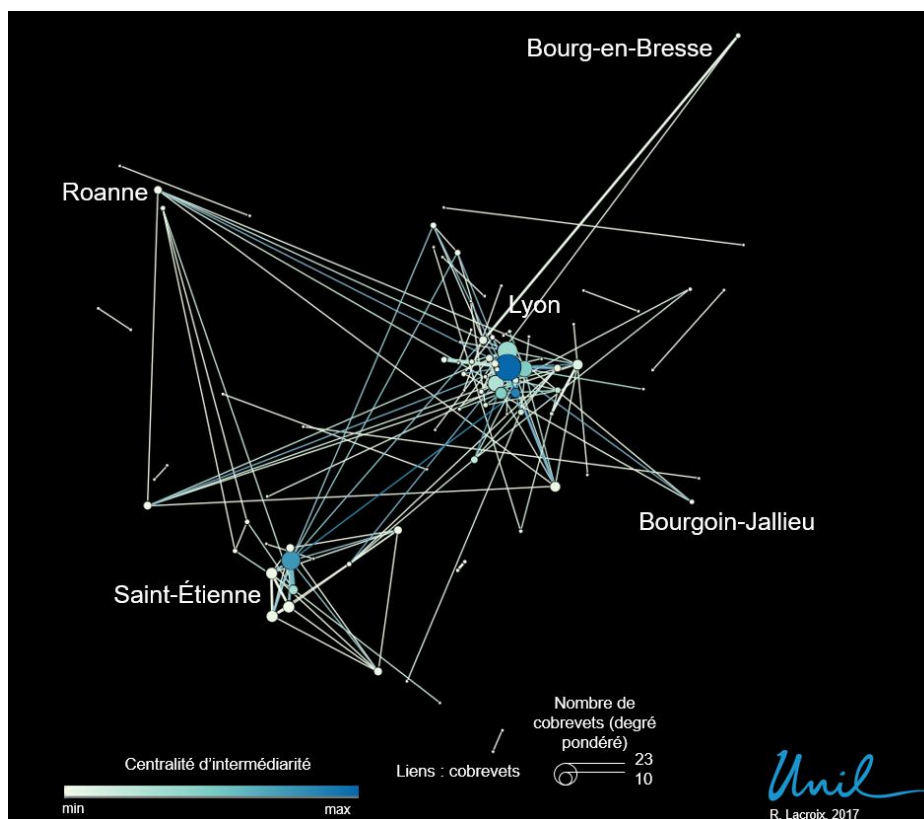
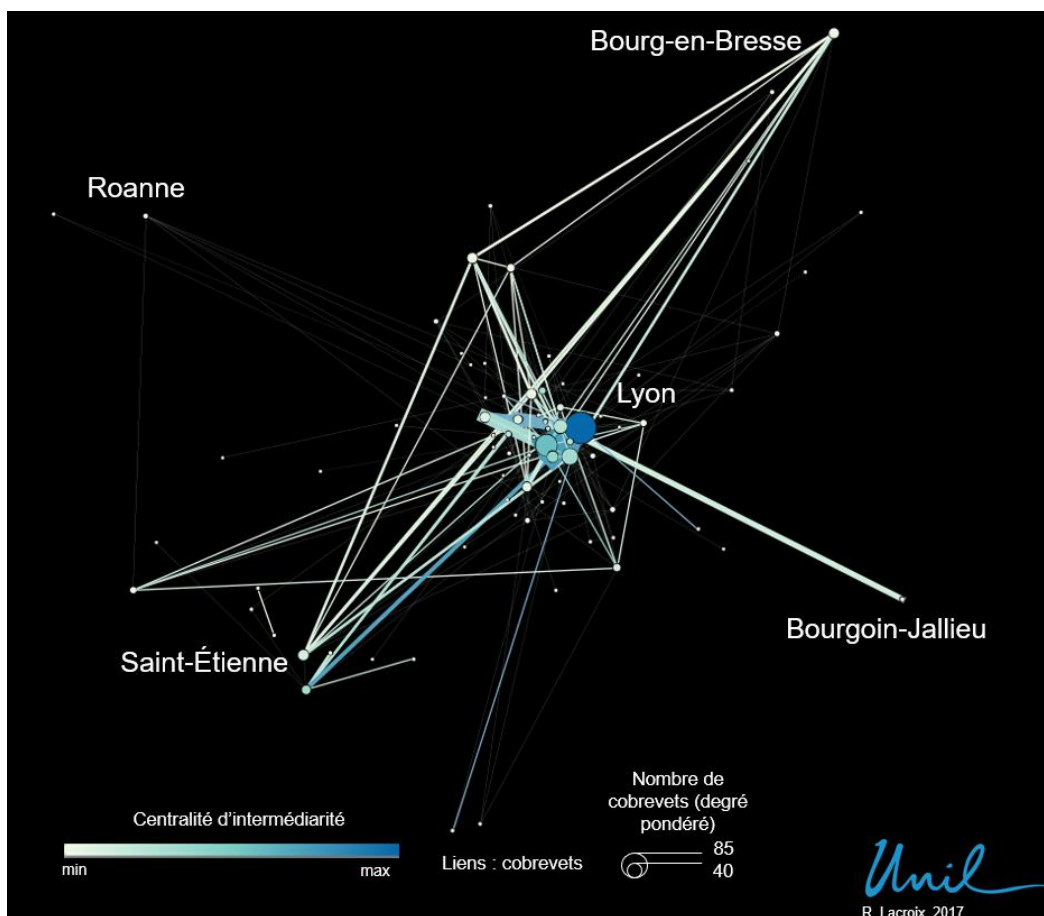
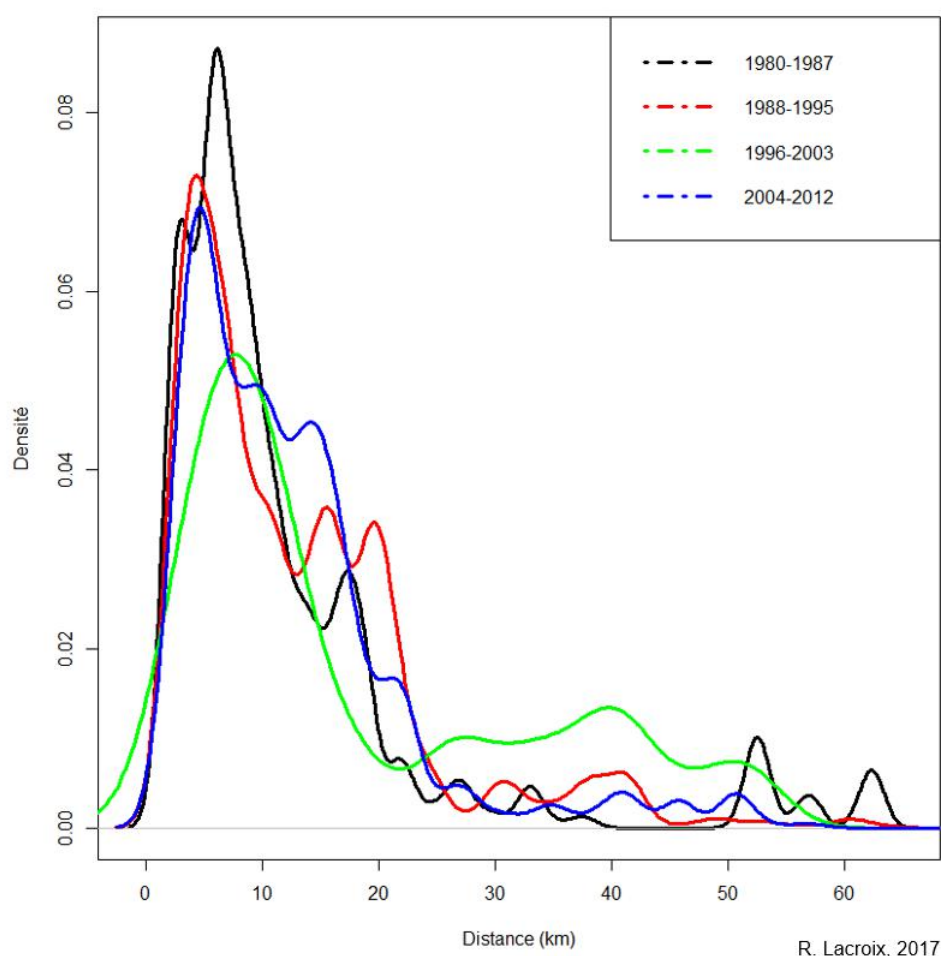


FIGURE 4.62 – Spatialité du cobrevetage dans l'aire métropolitaine lyonnaise, 2004-2012



Une seconde approche consiste à considérer la géographie des citations effectuées afin de déterminer les agglomérations influençant l'aire métropolitaine lyonnaise, mais également les citations reçues pour observer les agglomérations effectivement influencées technologiquement par l'aire métropolitaine lyonnaise au fil du temps.

On regarde d'abord le profil des distances de citation au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise représenté sur la figure 4.63. Globalement, on peut dire que la distance moyenne des citations entre brevets (obtenue là encore à partir des adresses des inventeurs) est assez stable sur les périodes considérées, avec une moyenne oscillant entre 12 km pour les périodes 1, 2 et 4 et 18km pour la période 3, marquée comme on peut le voir par un nombre relativement important de citations à environ 40 km, ce qui correspond dans les données à des citations entre Lyon et Saint-Étienne et Lyon et Bourgoin-Jallieu.

FIGURE 4.63 – Évolution de la distance de citation entre brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

Dans un second temps, on considère les citations échangées par l'aire métropolitaine lyonnaise sur la scène globale. Les tableaux 4.23 et 4.24 représentent respectivement les dix agglomérations dont les brevets sont les plus cités par ceux de l'aire métropolitaine lyonnaise et les dix agglomérations dont les brevets citent le plus ceux de l'aire métropolitaine lyonnaise, cela pour les quatre périodes.

Les citations reçues pourraient alors être interprétées comme de l'influence technologique de l'aire métropolitaine lyonnaise et sur ces agglomérations et les citations effectuées comme de la dépendance de l'aire métropolitaine lyonnaise à ces agglomérations. Les cartes qui suivent sont les représentations spatiales de ces liens d'influence et de dépendance de l'aire métropolitaine lyonnaise pour chaque période (Fig. 4.64 à 4.71).

4. Les réseaux de proximités dans l'aire métropolitaine lyonnaise

Tableau 4.23 – Évolution des principales agglomérations citées par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

1980-1987	1988-1995	1996-2003	2004-2012
PARIS	PARIS	PARIS	TOKYO
COLOGNE	TOKYO	TOKYO	COLOGNE
BERLIN	YOKOHAMA	NEW YORK	KYOTO
MANNHEIM	NEW YORK	OSAKA	FRANKFURT
NEW YORK	OSAKA	YOKOHAMA	LONDON
FRANKFURT	BERLIN	HIROSHIMA	OSAKA
MUNCHEN	COLOGNE	PHILADELPHIE	BALE
TOKYO	PHILADELPHIE	FRANKFURT	PHILADELPHIE
BALE	MANNHEIM	MITO	MANNHEIM
GRENOBLE	FRANKFURT	GRENOBLE	YOKOHAMA

Tableau 4.24 – Évolution des principales agglomérations citant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-2012

1980-1987	1988-1995	1996-2003	2004-2012
PARIS	PARIS	PARIS	CINCINNATI
COLOGNE	COLOGNE	ST LOUIS MO	GRENOBLE
TOKYO	FRANKFURT	GRENOBLE	NEW YORK
DUSSELDORF	TOKYO	HIROSHIMA	PARIS
FRANKFURT	DUSSELDORF	FRANKFURT	BALE
OSAKA	PHILADELPHIE	OSAKA	SAN FRANCISCO
NEW YORK	NEW YORK	TOKYO	COLOGNE
YOKOHAMA	MANNHEIM	MANNHEIM	MILANO
BERLIN	YOKOHAMA	BELFAST	TOKYO
PHILADELPHIE	LONDON	STUTTGART	YOKOHAMA

FIGURE 4.64 – Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-1987

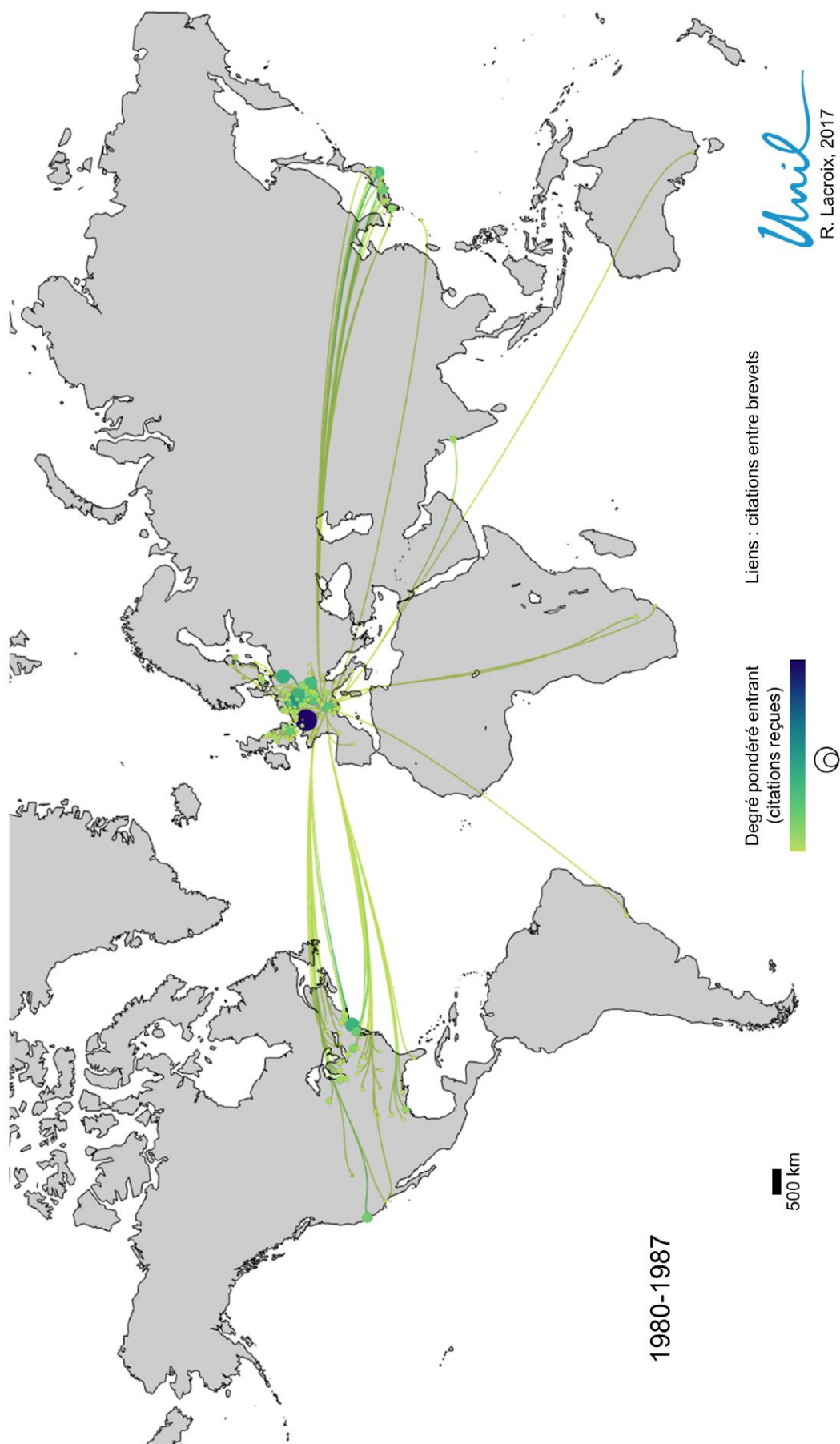


FIGURE 4.65 – Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1988-1995

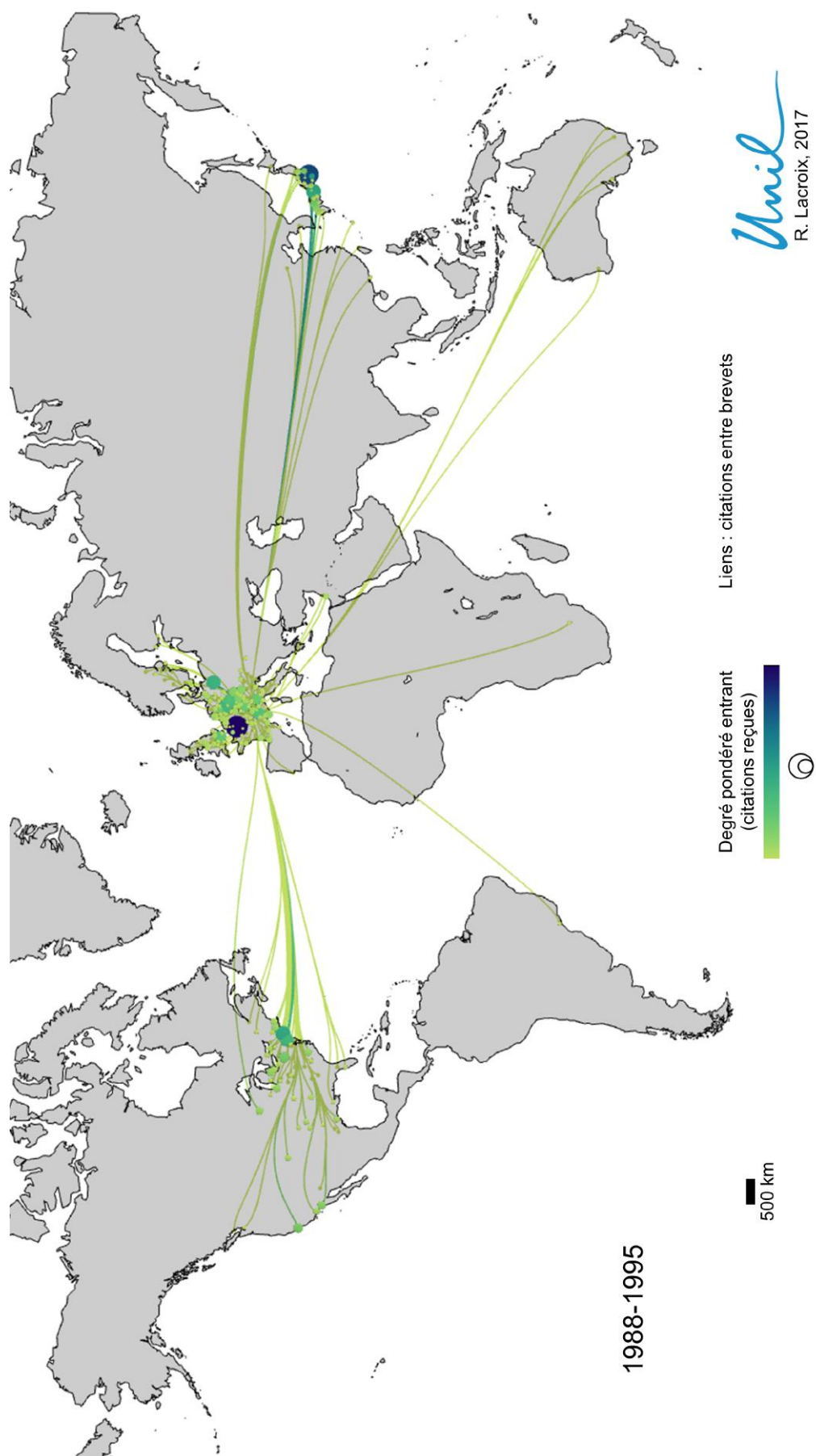


FIGURE 4.66 – Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1996-2003

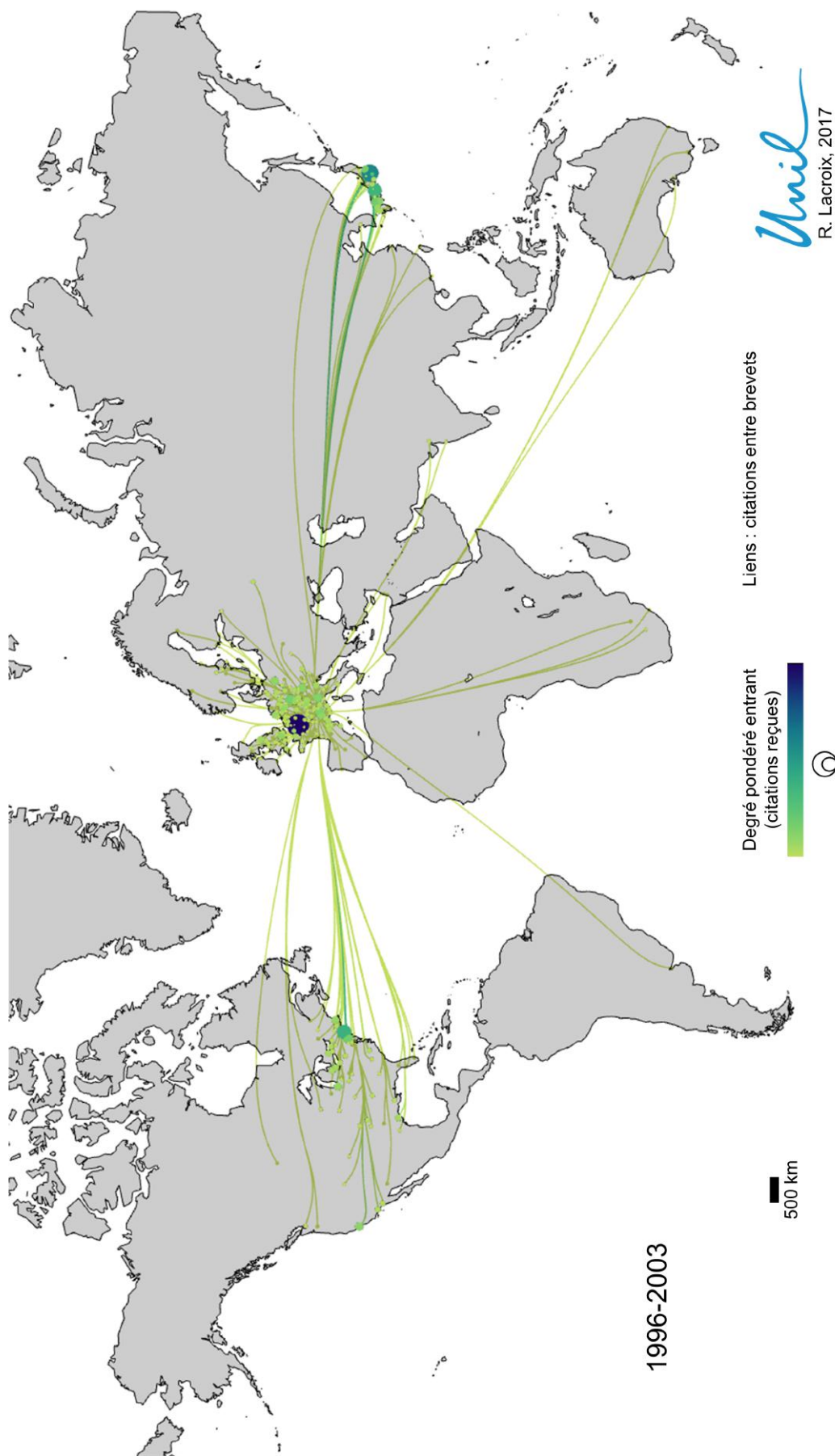


FIGURE 4.67 – Citations partant des brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 2004-2012

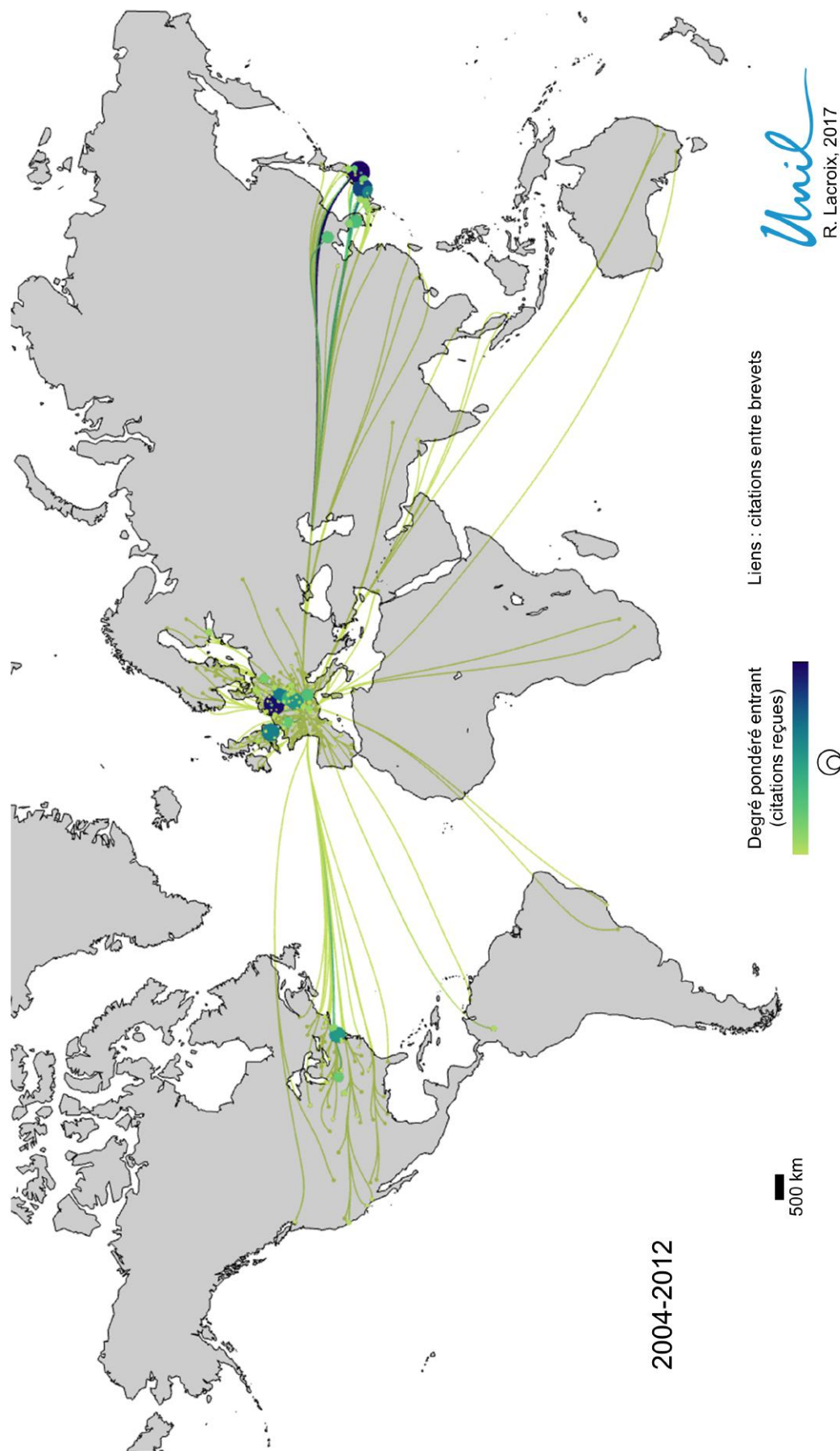


FIGURE 4.68 – Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1980-1987

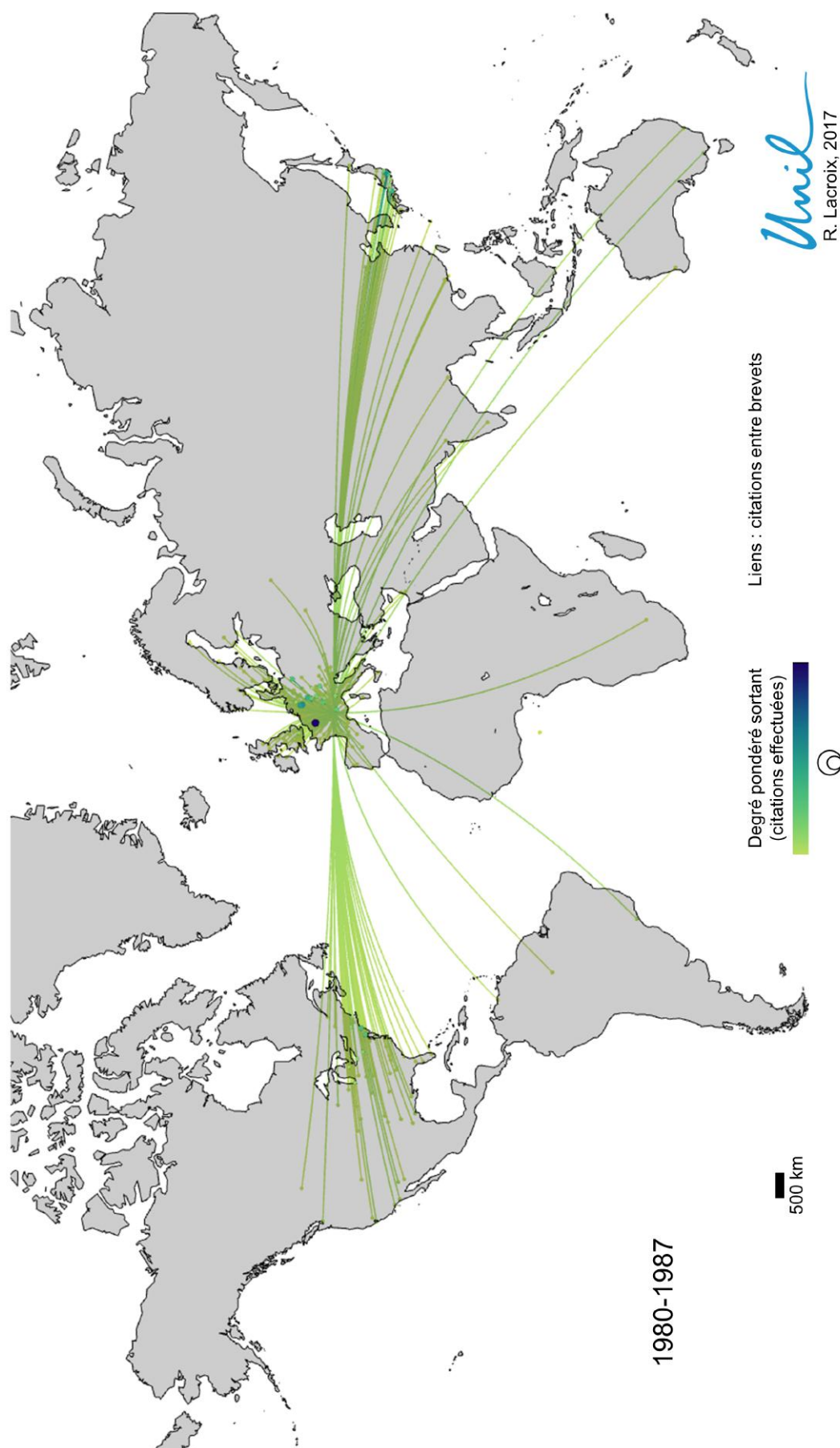


FIGURE 4.69 – Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1988-1995

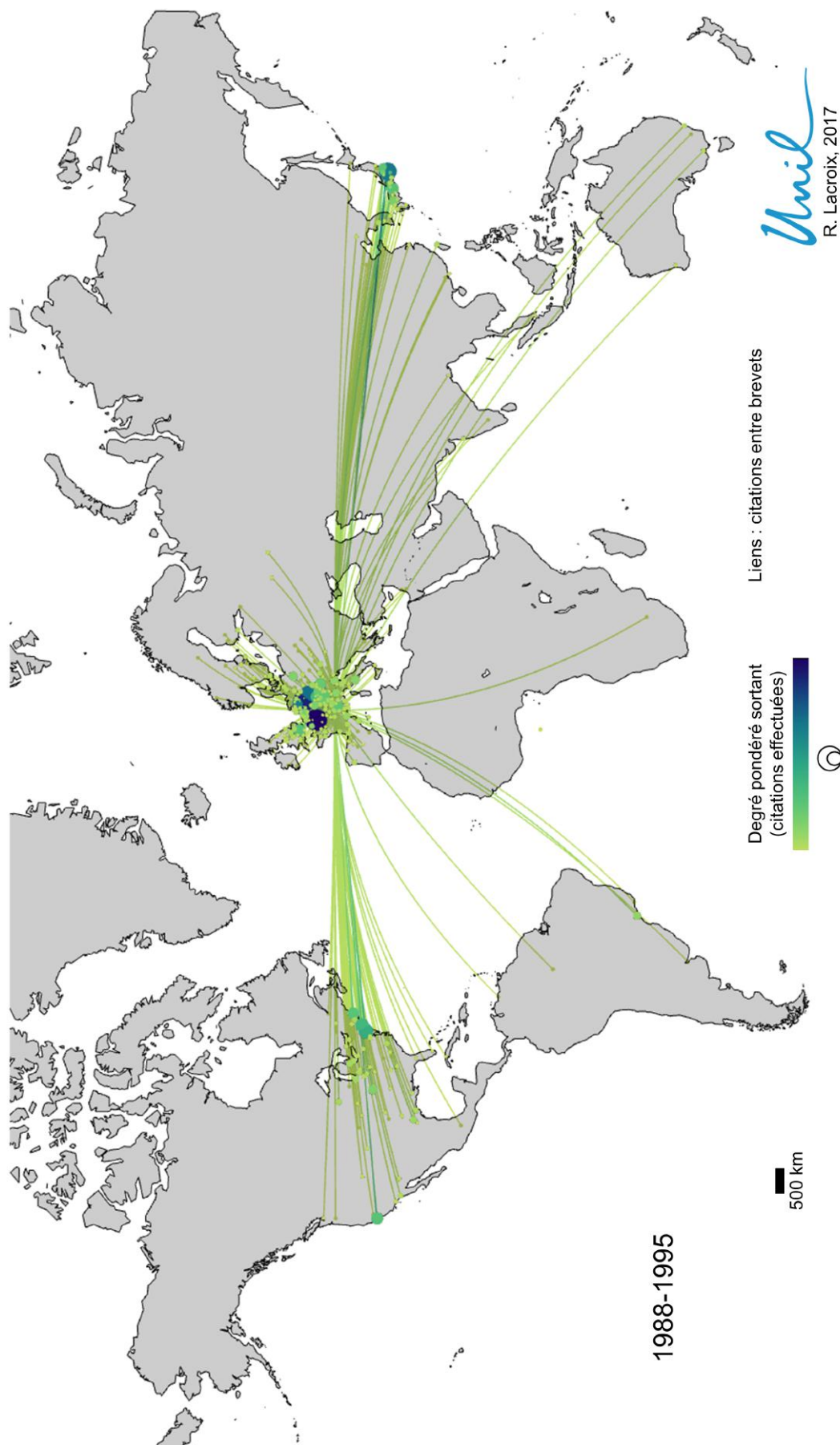


FIGURE 4.70 – Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 1996-2003

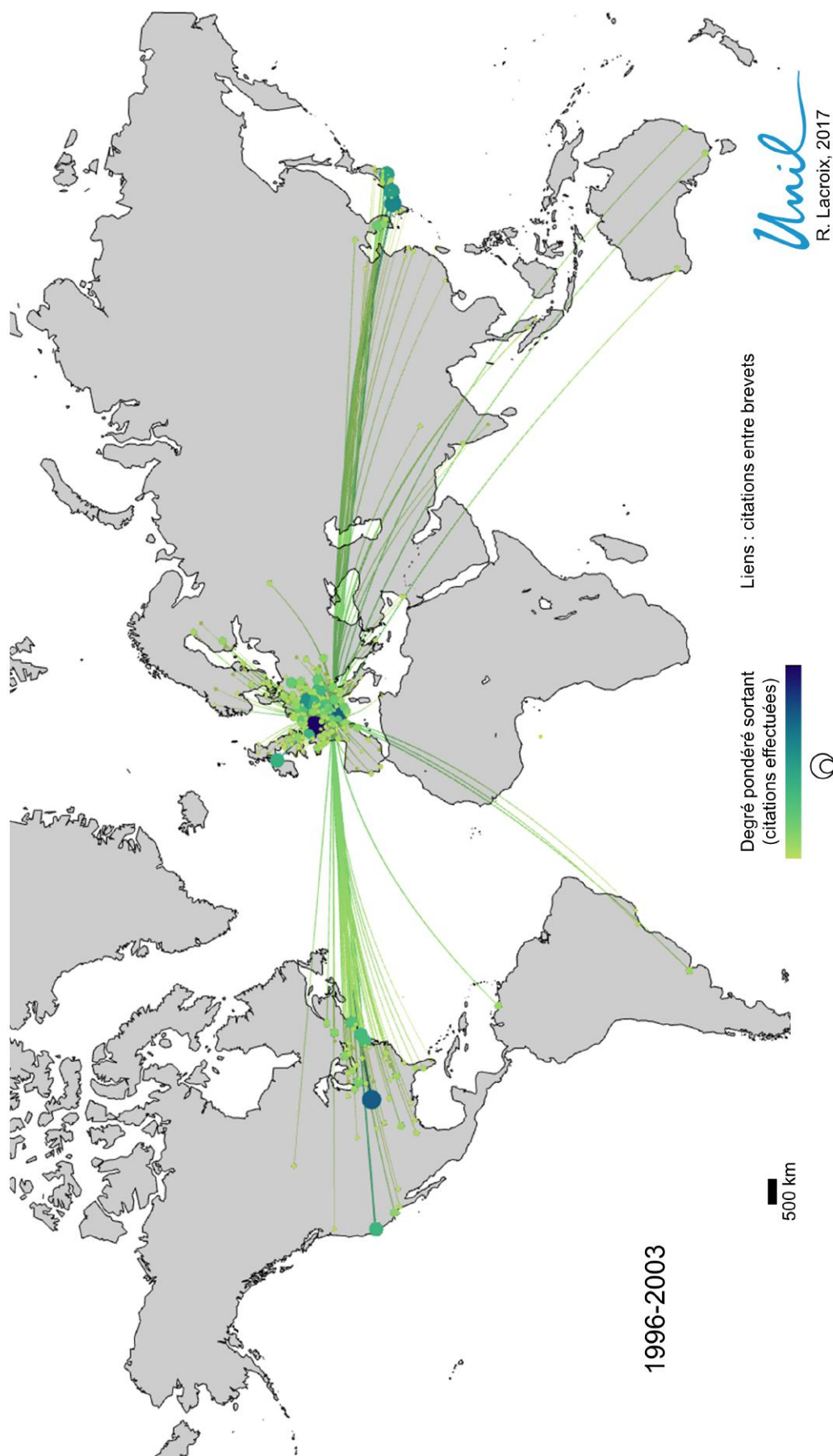
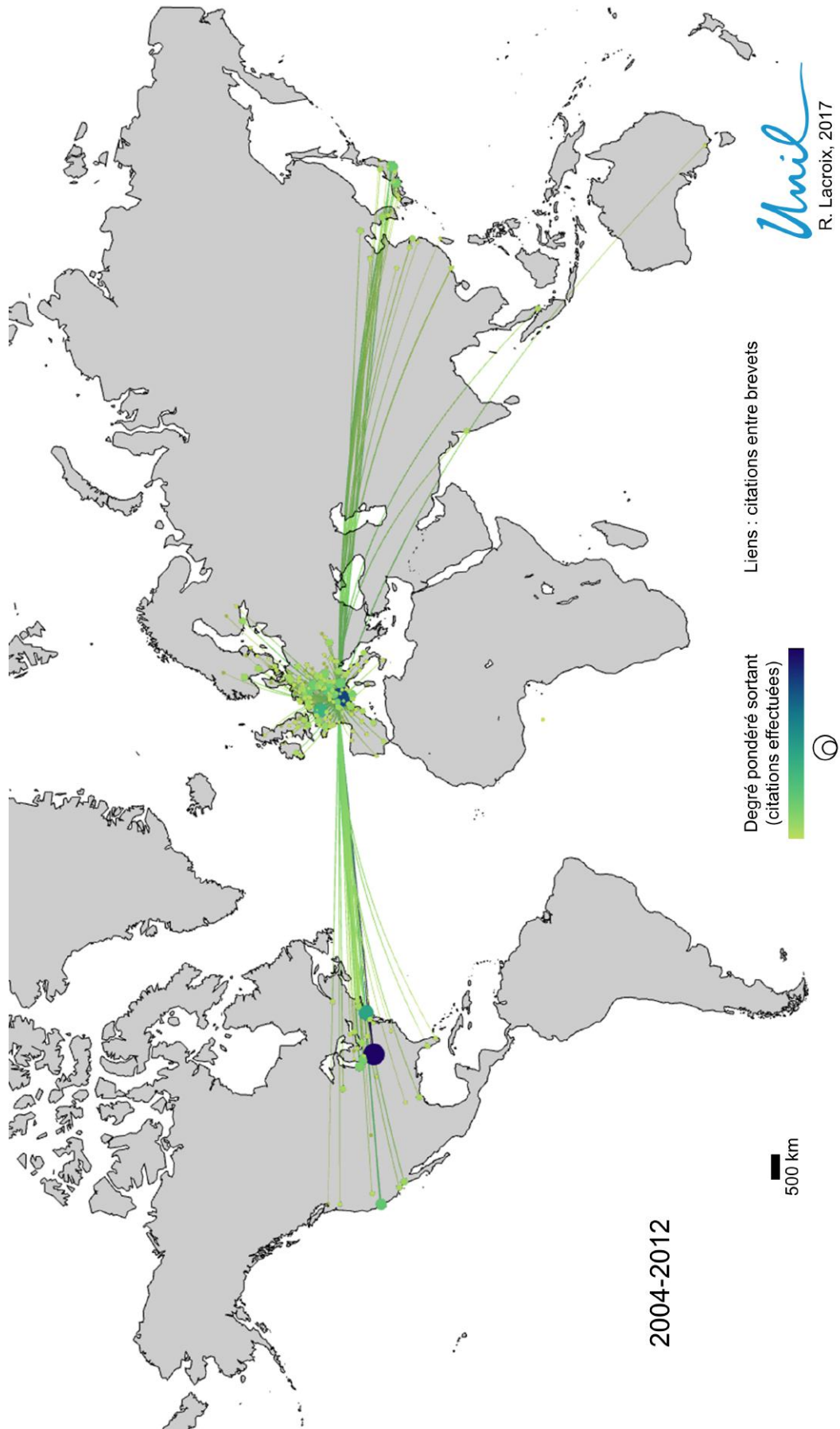


FIGURE 4.71 – Citations reçues par les brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise, 2004-2012



À travers ces tableaux et ces cartes, on peut tout d'abord noter la relation avec la capitale, Paris, qui lors des trois premières périodes est à la fois origine et débouché principal des citations arrivant ou partant de l'aire métropolitaine lyonnaise. Lors de la quatrième période, on note toutefois l'affaiblissement de la dépendance lyonnaise à Paris, l'aire métropolitaine lyonnaise préférant des citations plus internationales. On note également des liens forts de citations avec Grenoble sur les quatre périodes et dans les deux sens, preuve du dynamisme et de la coopération régionale en matière d'innovation.

Pour le reste, globalement l'aire métropolitaine lyonnaise échange des rapports de dépendance et d'influence principalement avec trois pays :

- L'Allemagne, avec principalement les agglomérations de Cologne, Mannheim, Francfort et Düsseldorf ;
- Le Japon, avec principalement les agglomérations de Tokyo, Osaka et Yokohama ;
- Les États-Unis, avec principalement les agglomérations de New York, Philadelphie, San Francisco, Saint Louis et Cincinnati.

Dans une moindre mesure, on pourrait également ajouter les liens avec Bâle qui sont importants, les deux agglomérations étant liées par de fortes industries chimiques et pharmaceutiques.

5

Commentaires des résultats et discussion

Après avoir mis en lumière les résultats des différentes analyses, il convient de revenir sur les hypothèses de travail proposées.

Afin de déterminer si les proximités géographique, sociale, organisationnelle et technologique se combinent pour déterminer de la structure des réseaux de connaissances (H1), on a donc eu recours à un test sur les réseaux d'inventeurs en leur assignant les différentes proximités modélisées. Selon H1, les réseaux d'innovation seraient alors construits au moins par une influence significative de ces 4 proximités.

En procédant à une corrélation de Pearson entre les degrés des inventeurs sur la base de ces proximités, on trouve en effet une certaine combinaison significative des quatre proximités testées avec une influence cependant moins importante de la dimension géographique par rapport aux autres. Cependant, il faut noter que ces corrélations ne constituent qu'une mesure grossière de ces combinaisons. Ainsi, on a remarqué que 84% des inventeurs liés étaient d'organisations différentes et que si les proximités géographique et technologique étaient peu corrélées, on pouvait toutefois observer certains *clusters* technologiques spécifiques.

On a pensé que de ces différentes proximités émergent des conséquences sensibles sur les structures des réseaux de connaissances. Si les proximités géographiques et sociales jouaient un rôle déterminant pour la rencontre et l'échange locaux de connaissances, les proximités organisationnelles et technologiques interviennent elles majoritairement dans les échanges à longue distance. Aussi, on voit ici qu'au sein du territoire, les proximités sociale et géographique sont assez peu liées, et que la proximité géographique a moins d'influence, mais que les proximités technologique et sociale auraient de plus en plus d'influence réciproque comme le prouve leur coévolution (corrélation positive en augmentation). On serait donc dans un modèle où les contacts locaux seraient influencés avant tout

par la proximité sociale, elle-même de plus en plus influencée par la proximité technologique. Cette proximité technologique étant elle-même caractéristique des échanges à longue distance, on pourrait ainsi penser à une uniformisation du modèle de relation dans l'échange de connaissances à l'échelle globale et à l'échelle locale. Cependant, on a bien vu que la proximité géographique jouait de plus en plus sur la proximité organisationnelle. Cela nous amène ainsi à reconsidérer le modèle de Bathelt *et al.* (2004) de *local buzz and global pipelines*. De notre étude sur l'aire métropolitaine lyonnaise, on peut dire que le *buzz* local est de plus en plus produit par l'influence de la proximité technologique sur la proximité sociale, et par l'influence croissante de la proximité géographique sur la proximité organisationnelle. On considère alors de plus en plus de *clusters* d'organisations dans lesquels les inventeurs sont liés par leur domaine technologique précis.

Cela nous permet donc de répondre positivement à l'hypothèse 2 selon laquelle l'évolution des proximités est, à court terme, un facteur déterminant dans l'évolution des réseaux de connaissances. En effet, dans le cadre de cette étude de moyen-terme (1980-2012) on a observé une coévolution des réseaux de proximités organisationnelles, sociales, technologiques et géographiques comme on a pu le voir à travers les corrélations sur les réseaux d'inventeurs. Aussi, sur cette coévolution de proximités repose un modèle de développement technologique *path dependent*. Étant donné l'influence des liens sociaux, organisationnels ou de la proximité géographique, la trajectoire de développement technologique et économique est évidemment dépendante des trajectoires propres des proximités sous-jacentes.

Plus largement, cette étude a permis également de tester d'autres hypothèses secondaires. En premier lieu, nous avons confirmé la prééminence des institutions publiques dans le rôle de *gatekeepers* des systèmes d'innovation comme cela avait été pensé par Graf *et al.* (2011). Ensuite nous avons pu observer comme l'ont imaginé Neffke *et al.* (2011) que les technologies les plus éloignées du cœur du réseau technologique avaient davantage de chance de sortir du système d'innovation et que les nouvelles technologies entrantes se plaçaient au contraire plus proche du centre. Comme on l'a vu, nous informons également par cette étude la proposition de Partha et David (1994) qui pensaient que les acteurs privés avaient peu de propension à échanger des connaissances alors qu'on voit que près de 84% d'entre eux échangent au contraire des connaissances avec d'autres organisations.

Enfin, cette étude a largement ouvert la boîte noire du système d'innovation de l'aire métropolitaine lyonnaise par les méthodes des réseaux sociaux, mettant en lumière une approche nouvelle des relations du système d'innovation technologies entre acteurs, organisations et territoires locaux, les liens de dépendance et d'influence avec l'étranger et

les spécialisations locales. On a notamment vu qu'un équilibre s'instaurait entre *related variety* et *unrelated variety*.

6

Conclusion

La présente étude a permis de modéliser les réseaux de proximité sous-jacents aux réseaux de brevets de l'aire métropolitaine lyonnaise dans le cadre de l'analyse de leurs structures et trajectoires. L'étude révèle que les proximités technologiques, organisationnelles, sociales et géographiques sont combinées dans la réalisation d'un réseau d'innovations basé sur les brevets localisés dans ce territoire. Il apparaît en outre que ces proximités sont en interrelation et en coévolution, les variations d'une dimension de proximité affectant structurellement et dynamiquement les autres.

La proximité technologique, après analyses des différentes solutions possibles de modélisation, a été réalisée sur les brevets. Les résultats nous indiquent une évolution du système d'innovation vers un équilibre dans la variété des liens technologiques des inventions entre *related variety* et *unrelated variety*, que l'on pourrait rapprocher de la distinction entre « science normale » et innovations radicales (« révolutions »). Les technologies dominantes de l'aire métropolitaine lyonnaise ont été identifiées (pétrochimie et pharmacie) ainsi que les plus caractéristiques du territoire (mécaniques Jacquard, électroménager, biocides et raffinage).

Les analyses sur la proximité organisationnelle font état des principaux acteurs de l'innovation de l'aire métropolitaine lyonnaise. On a pu observer la percée du CNRS comme acteur incontournable globalement et dans les relations entre secteur public et secteur privé, s'articulant principalement dans le domaine de la chimie et du domaine médical et pharmaceutique. Certains acteurs ont à cet égard été identifiés comme des *gatekeepers* permettant la commutation de connaissances entre l'échelle globale et l'échelle locale et, vérifiant les hypothèses émises par la littérature, il s'agit principalement bien d'acteurs publics comme tels que le CNRS ou l'INSERM. Il a encore été montré l'échange croissant de connaissances entre acteurs de l'innovation, que ce soit volontairement par l'augmentation du nombre de cobrevets ou involontairement par la mobilité professionnelle croissante des inventeurs.

L'étude des relations entre inventeurs, soit de la proximité sociale, nous présente un réseau social de petites communautés principalement basées sur des relations technologiques que des relations organisationnelles. Ces communautés peuvent dans certains cas être reliées par des inventeurs « stars » permettant de diffuser les connaissances entre communautés. Il a de plus été observé que ces communautés sont de plus en plus cloisonnées et aussi ce rôle d'intermédiaire entre les communautés est de plus en plus rare et important.

Enfin, la proximité géographique révèle une certaine concentration des inventeurs, brevets et des citations au sein de l'aire métropolitaine lyonnaise autour des pôles de Lyon et Saint Étienne. Certains lieux semblent se spécialiser dans certaines technologies que l'on peut alors interpréter comme des clusters. Au niveau global, l'aire métropolitaine lyonnaise a eu une forte dépendance à Paris dans ses flux de connaissances mais elle semble en train de s'en affranchir, préférant maintenant davantage des relations avec l'Allemagne, le Japon ou les États-Unis. Le choix de l'analyse de ces réseaux d'innovations locaux a permis la confirmation de l'interrelation, de la coévolution et de la *path dependence* des proximités dans les réseaux de connaissances. Dans ce contexte, il serait alors intéressant de reproduire ces analyses dans d'autres agglomérations de manière à confirmer les observations dégagées ici en vue d'en tirer des comportements plus généraux.

Il a été montré la relation de dépendance importante du territoire à Paris, mais aussi la croissance des échanges de connaissances avec des partenaires non-nationaux (par exemple États-Unis, Allemagne et Japon). Des évolutions technologiques ont été mises en évidence comme par exemple le développement récent important de compétences autour des biocides et fongicides, notamment dû à Bayer et à son centre de recherche sur les maladies des plantes de la Dagoire. Enfin, l'étude de l'écosystème d'innovation a révélé une grande importance des acteurs de la recherche publique (CNRS, Universités, écoles) dans le captage et la diffusion des connaissances, même si le système reste dominé en nombre par les acteurs privés. Un certain nombre de partenariats publics-privés ont été mis au jour, notamment dans les années les plus récentes. On peut voir dans ce dernier phénomène une certaine influence des pôles de compétitivité mis en place à partir de 2005.

Il convient cependant de noter quelques lacunes liées au choix des données, à leur qualité, leur quantité et leur pertinence parfois mis en doute par certains spécialistes. En effet, les brevets ne mesurent qu'une partie émergée de l'iceberg des flux de connaissances et toute interprétation généraliste à ce sujet ne pourrait être qu'une extrapolation assez grossière. Il pourrait alors s'agir de compléter cette étude par des données de citations bibliométriques, des relations de partenariat dans des projets de recherche, des filiations d'entreprises ou des appartenances à des associations communes afin de saisir l'entière complexité des réseaux de connaissances localisés à travers le monde.

6. Conclusion

Bibliographie

- Amin, A. and Cohendet, P. (1999). Learning and adaptation in decentralised business networks. *Environment and Planning D : Society and Space*, 17(1) :87–104.
- Amin, A. and Cohendet, P. (2000). Organisational Learning and Governance Through Embedded Practices. *Journal of Management and Governance*, 4(1-2) :93–116.
- Arthur, W. B. (1988). Self-reinforcing mechanisms in economics. In Arrow, K. J. and Anderson, P., editors, *The Economy as an Evolving Complex System*, pages 9–33. Wiley, New York.
- Asheim, B. T. (2002). Temporary organisations and spatial embeddedness of learning and knowledge creation. *Geografiska Annaler, Series B : Human Geography*, 84(2) :111–124.
- Asheim, B. T. and Coenen, L. (2005). Knowledge bases and regional innovation systems : Comparing Nordic clusters. *Research Policy*, 34(8) :1173–1190.
- Asheim, B. T. and Isaksen, A. (2002). Regional innovation systems : the integration of local ‘sticky’ and global ‘ubiquitous’ knowledge. *The Journal of Technology Transfer*, 27(1) :77–86.
- Audretsch, D. B. and Feldman, M. P. (1996). R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production. *The American Economic Review*, 86(3) :630–640.
- Balland, P.-A. (2012). Proximity and the Evolution of Collaboration Networks : Evidence from R&D Projects within the GNSS Industry. *Regional Studies*, 46(6) :741–756.
- Balland, P.-A., De Vaan, M., and Boschma, R. (2013). The dynamics of interfirm networks along the industry life cycle : The case of the global video game industry, 1987–2007. *Journal of Economic Geography*, 13(5) :741–765.
- Barabási, A.-L. and Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439) :509–512.

- Bathelt, H., Malmberg, A., and Maskell, P. (2004). Clusters and knowledge : local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. *Progress in Human Geography*, 28(1) :31–56.
- Bishop, P. and Gripaos, P. (2010). Spatial Externalities, Relatedness and Sector Employment Growth in Great Britain. *Regional Studies*, 44(4) :443–454.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics : Theory and Experiment*, 2008(10) :P10008.
- Bonacich, P. (1972). Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification. *Journal of Mathematical Sociology*, 2(1) :113–120.
- Bonacich, P. (2007). Some unique properties of eigenvector centrality. *Social networks*, 29(4) :555–564.
- Boschma, R. (2005). Proximity and innovation : a critical assessment. *Regional studies*, 39(1) :61–74.
- Boschma, R. (2017). Relatedness as driver of regional diversification : a research agenda. *Regional Studies*, 51(3) :351–364.
- Boschma, R., Eriksson, R., and Lindgren, U. (2008). How does labour mobility affect the performance of plants? The importance of relatedness and geographical proximity. *Journal of Economic Geography*, 9(2) :169–190.
- Boschma, R. and Frenken, K. (2010). The spatial evolution of innovation networks. A proximity perspective. In *The Handbook of Evolutionary Economic Geography*, pages 120–135. Edward Elgar, Cheltenham.
- Boschma, R. and Iammarino, S. (2009). Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy. *Economic geography*, 85(3) :289–311.
- Boschma, R., Lambooy, J. G., and Schutjens, V. (2002). Embeddedness and innovation. In Taylor, M. and Leonard, S., editors, *Embedded Enterprise and Social Capital*, pages 19–37. Ashgate, Farnham.
- Boschma, R. and Martin, R. (2007). Constructing an evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, 7(5) :537–548.
- Boschma, R., Martín, V., and Minondo, A. (2017). Neighbour regions as the source of new industries. *Papers in Regional Science*, 96(2) :227–245.

- Boschma, R. A. and Frenken, K. (2006). Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, 6(3) :273–302.
- Bourdeau-Lepage, L., Huriot, J.-M., and Perreur, J. (2009). A la recherche de la centralité perdue. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, 2009(3) :549–572.
- Brachert, M., Kubis, A., Titze, M., and others (2013). Related variety, unrelated variety and regional functions : A spatial panel approach. *Papers in Evolutionary Economic Geography*, 13.
- Breschi, S. and Lissoni, F. (2001). Knowledge spillovers and local innovation systems : a critical survey. *Industrial and corporate change*, 10(4) :975–1005.
- Breschi, S., Lissoni, F., and Malerba, F. (2003). Knowledge-relatedness in firm technological diversification. *Research policy*, 32(1) :69–87.
- Broekel, T. (2015). The co-evolution of proximities—a network level study. *Regional Studies*, 49(6) :921–935.
- Broekel, T. and Boschma, R. (2011). Knowledge networks in the Dutch aviation industry : the proximity paradox. *Journal of Economic Geography*, 12(2) :409–433.
- Broekel, T. and Brachert, M. (2015). The structure and evolution of inter-sectoral technological complementarity in R&D in Germany from 1990 to 2011. *Journal of evolutionary economics*, 25(4) :755–785.
- Brown, J. S. and Duguid, P. (2000). *The social life of information*. Harvard Business Press, Cambridge.
- Burt, R. S. (1992). *Structural Holes : The Social Structure of Competition*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Carlsson, B. and Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of evolutionary economics*, 1(2) :93–118.
- Castaldi, C., Frenken, K., and Los, B. (2015). Related Variety, Unrelated Variety and Technological Breakthroughs : An analysis of US State-Level Patenting. *Regional Studies*, 49(5) :767–781.
- Cohendet, P. and Llerena, P. (1997). Learning, technical change and public policy : how to create and exploit diversity. In Edquist, C., editor, *Systems of innovation*, pages 223–241. Pinter, Londres et Washington.

- Colletis, G., Gilly, J., Pecqueur, B., Perrat, J., and Zimmermann, J. (1997). Firms et territoires : entre nomadisme et ancrage. *Espaces et sociétés*, 88(1) :115.
- Cooke, P. (1996). The new wave of regional innovation networks : analysis, characteristics and strategy. *Small Business Economics*, 8(2) :159–171.
- David, P. A. (1985). Clio and the Economics of QWERTY. *The American economic review*, 75(2) :332–337.
- Derudder, B., Conventz, S., Thierstein, A., and Witlox, F. (2014). Knowledge Hubs : Infrastructure and the Knowledge Economy in City-Regions. In Derudder, B., Conventz, S., Thierstein, A., and Witlox, F., editors, *Hub Cities in the Knowledge Economy. Seaports, Airports, Brainports*, pages 1–7. Ashgate, Farnham.
- Desrochers, P. and Leppala, S. (2011). Opening up the 'Jacobs Spillovers' black box : local diversity, creativity and the processes underlying new combinations. *Journal of Economic Geography*, 11(5) :843–863.
- Dicken, P. (1986). *Global shift : industrial change in a turbulent world*. Harper & Row London.
- Dunning, J. H. (2002). *Regions, globalization, and the knowledge-based economy*. Oxford University Press, Oxford.
- Duranton, G. and Puga, D. (2004). Micro-foundations of urban agglomeration economies. In Henderson, V. H. and Thisse, J.-F., editors, *Handbook of Regional and Urban Economics*, volume 4, pages 2063–2117. Elsevier, Amsterdam.
- Edquist, C. and Johnson, B. (1997). Institutions and Organizations in Systems of Innovation. In Edquist, C., editor, *Systems of Innovation : Technologies, Institutions, and Organizations*, pages 41–63. Pinter, Oxon.
- EPO (2009). Annual report 2009. Technical report, European Patent Office.
- Ernst, D. (2002). Global production networks and the changing geography of innovation systems. Implications for developing countries. *Economics of innovation and new technology*, 11(6) :497–523.
- Essletzbichler, J. (2005). Diversity, stability and regional growth in the US (1975-2002). Papers in Evolutionary Economic Geography (PEEG) 05-13, Utrecht University, Section of Economic Geography, Utrecht.
- Estades, J., Joly, P.-B., and Mangematin, V. (1996). Dynamique des relations industrielles dans les laboratoires d'un grand organisme public de recherche : coordination, apprentissage, réputation et confiance. *Sociologie du travail*, pages 391–407.

- Européenne, C. (2010). EUROPE 2020. Une stratégie pour une croissance intelligente, durable et inclusive. Technical report, Commission Européenne, Bruxelles.
- Feldman, M., Francis, J., and Bercovitz, J. (2005). Creating a cluster while building a firm : Entrepreneurs and the formation of industrial clusters. *Regional Studies*, 39(1) :129–141.
- Feldman, M. P. (2000). Location and innovation : the new economic geography of innovation, spillovers, and agglomeration. In Clark, G., Feldman, M. P., and Gertler, M., editors, *The Oxford handbook of economic geography*, pages 373–395. Oxford University Press, Oxford.
- Ferru, M., Bès, M.-P., and Grossetti, M. (2011). Measuring social proximity in the geography of innovation. In *New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World*, Barcelone, Espagne. 51st European Congress of the Regional Science Association International.
- Fifarek, B. J. and Veloso, F. M. (2010). Offshoring and the global geography of innovation. *Journal of Economic Geography*, 10(4) :559–578.
- Foray, D. (2007). Tacit and codified knowledge. In Hanusch, H. and Pyka, A., editors, *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, pages 235–247. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Foray, D. (2010). *L'économie de la connaissance*. Repères. La Découverte.
- Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance : Lessons from Japan*. Pinter, Londres.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, pages 35–41.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3) :215–239.
- Frenken, K. and Boschma, R. A. (2007). A theoretical framework for evolutionary economic geography : industrial dynamics and urban growth as a branching process. *Journal of economic geography*, 7(5) :635–649.
- Frenken, K., Hoekman, J., Kok, S., Ponds, R., van Oort, F., and van Vliet, J. (2009). Death of distance in science ? a gravity approach to research collaboration. In Pyka, A. and Scharnhorst, A., editors, *Innovation networks*, pages 43–57. Springer.

- Frenken, K., Van Oort, F., and Verburg, T. (2007). Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional studies*, 41(5) :685–697.
- Friedmann, J. (1986). The world city hypothesis. *Development and change*, 17(1) :69–83.
- Fritsch, M. and Kauffeld-Monz, M. (2010). The impact of network structure on knowledge transfer : an application of social network analysis in the context of regional innovation networks. *The Annals of Regional Science*, 44(1) :21–38.
- Gertler, M. and Wolfe, D. (2004). Ontario's regional innovation system. In Cooke, P., Heidenreich, M., and Braczyk, H.-J., editors, *Regional Innovation Systems : The Role of Governance in a Globalised World*, pages 91–124. Routledge, Londres et New York, 2 edition.
- Gertler, M. S. (2003). Tacit knowledge and the economic geography of context, or the undefinable tacitness of being (there). *Journal of economic geography*, 3(1) :75–99.
- Gertler, M. S. (2008). Buzz Without Being There? Communities of Practice in Context1. In Amin, A. and Roberts, J., editors, *Community, Economic Creativity, and Organization*, pages 203–226. Oxford University Press.
- Gertler, M. S. and Levitte, Y. M. (2005). Local nodes in global networks : the geography of knowledge flows in biotechnology innovation. *Industry and Innovation*, 12(4) :487–507.
- Giuliani, E. (2006). The selective nature of knowledge networks in clusters : evidence from the wine industry. *Journal of economic geography*, 7(2) :139–168.
- Giuliani, E. (2011). Role of technological gatekeepers in the growth of industrial clusters : Evidence from Chile. *Regional Studies*, 45(10) :1329–1348.
- Glaeser, E. L. (1999). Learning in cities. *Journal of urban Economics*, 46(2) :254–277.
- Glaeser, E. L., Kallal, H. D., Scheinkman, J. A., and Shleifer, A. (1992). Growth in cities. *Journal of political economy*, 100(6) :1126–1152.
- Glückler, J. (2007). Economic geography and the evolution of networks. *Journal of Economic Geography*, 7(5) :619–634.
- Grabher, G. (1993). The Weakness of Strong Ties. The lock-in of regional development in the Ruhr area. In Grabher, G., editor, *The Embedded Firm*, pages 255–277. Routledge, Londres et New York.
- Graf, H. (2011). Gatekeepers in regional networks of innovators. *Cambridge Journal of Economics*, 35(1) :173–198.

- Graf, H. and Henning, T. (2009). Public Research in Regional Networks of Innovators : A Comparative Study of Four East German Regions. *Regional Studies*, 43(10) :1349–1368.
- Graf, H. and Krüger, J. J. (2011). The performance of gatekeepers in innovator networks. *Industry and Innovation*, 18(1) :69–88.
- Granovetter, M. (1973). The strength of weak ties. *American journal of sociology*, 78(6) :1360–1380.
- Granovetter, M. (1985). Economic action and social structure : The problem of embeddedness. *American journal of sociology*, 91(3) :481–510.
- Granovetter, M. (2005). The impact of social structure on economic outcomes. *The Journal of economic perspectives*, 19(1) :33–50.
- Grossetti, M. (1995). *Science, industrie et territoire*. Presses Univ. du Mirail, Toulouse.
- Grossetti, M. and Bès, M.-P. (2001). Encastremets et découplages dans les relations science-industrie. *Revue française de sociologie*, pages 327–355.
- Gudmundsson, S. V. and Lechner, C. (2006). Multilateral airline alliances : Balancing strategic constraints and opportunities. *Journal of Air Transport Management*, 12(3) :153–158.
- Hall, P. A. and Soskice, D. (2001). *Varieties of capitalism : The institutional foundations of comparative advantage*. Oxford University Press, Oxford.
- Hall, P. G. and Pain, K. (2006). *The polycentric metropolis : learning from mega-city regions in Europe*. Routledge, Londres.
- Hannan, M. T. and Freeman, J. (1977). The population ecology of organizations. *American journal of sociology*, 82(5) :929–964.
- Hansen, M. T. (1999). The search-transfer problem : The role of weak ties in sharing knowledge across organization subunits. *Administrative science quarterly*, 44(1) :82–111.
- Hausmann, R. and Hidalgo, C. (2010). Country diversification, product ubiquity, and economic divergence. Technical Report RWP10-045, Harvard Kennedy School, Cambridge.
- Hausmann, R. and Klinger, B. (2007). The structure of the product space and the evolution of comparative advantage. Technical Report 146, Center for International Development at Harvard University, Cambridge, MA.

- Heimeriks, G. and Boschma, R. (2014). The path-and place-dependent nature of scientific knowledge production in biotech 1986–2008. *Journal of Economic Geography*, 14(2) :339–364.
- Henderson, V., Kuncoro, A., and Turner, M. (1995). Industrial development in cities. *Journal of political economy*, 103(5) :1067–1090.
- Hidalgo, C. A. and Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26) :10570–10575.
- Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabasi, A.-L., and Hausmann, R. (2007). The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, 317(5837) :482–487.
- Hilbert, J., Nordhause-Janzen, J., Rehfeld, D., and Heinze, R. (2004). Industrial clusters and the governance of change : lessons from North Rhine-Westphalia. In Cooke, P., Heidenreich, M., and Braczyk, H.-J., editors, *Regional Innovation Systems*, pages 234–258. Routledge, Londres.
- Hoover, E. M. (1948). *The Location of Economic Activity*. McGraw-Hill, New York.
- Hubert, L. and Schultz, J. (1976). Quadratic assignment as a general data analysis strategy. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 29(2) :190–241.
- Humphries, M. D. and Gurney, K. (2008). Network ‘Small-World-Ness’ : A Quantitative Method for Determining Canonical Network Equivalence. *PLoS ONE*, 3(4) :e0002051.
- Hägerstrand, T. (1968). *Innovation diffusion as a spatial process*. University of Chicago Press, Chicago.
- Jacobs, J. (1969). *The Death and Life of Great American Cities*. Random House, New York.
- Jaffe, A. B., Trajtenberg, M., and Henderson, R. (1993). Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations. *The Quarterly Journal of Economics*, 108(3) :577–598.
- Kadushin, C. (2002). The motivational foundation of social networks. *Social networks*, 24(1) :77–91.
- Kauffman, S. (1995). *At home in the universe : The search for the laws of self-organization and complexity*. Oxford University Press, New York.
- Kenis, P. and Knoke, D. (2002). How organizational field networks shape interorganizational tie-formation rates. *Academy of Management Review*, 27(2) :275–293.

- Kilduff, M. and Tsai, W. (2003). *Social networks and organizations*. Sage, Londres.
- Kirat, T. and Lung, Y. (1999). Innovation and proximity : territories as loci of collective learning processes. *European urban and regional studies*, 6(1) :27–38.
- Knoben, J. and Oerlemans, L. A. (2006). Proximity and inter-organizational collaboration : A literature review. *International Journal of Management Reviews*, 8(2) :71–89.
- Kogut, B. (1988). Joint ventures : Theoretical and empirical perspectives. *Strategic management journal*, 9(4) :319–332.
- Krackhardt, D. (1987). Qap partialling as a test of spuriousness. *Social Networks*, 9 :171–186.
- Krackhardt, D. (1994). Constraints on the interactive organization as an ideal type. In Heckscher, C. and Donnellon, A., editors, *The PostBureaucratic Organization : New Perspectives on Organizational Change*, pages 211–222. Sage, Beverly Hills (CA).
- Krafft, J., Quatraro, F., and Saviotti, P. P. (2011). The knowledge-base evolution in biotechnology : a social network analysis. *Economics of Innovation and New Technology*, 20(5) :445–475.
- Leydesdorff, L. and Rafols, I. (2009). A global map of science based on the ISI subject categories. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(2) :348–362.
- Lissoni, F. (2001). Knowledge codification and the geography of innovation : the case of Brescia mechanical cluster. *Research Policy*, 30(9) :1479–1500.
- Lundvall, B.-A. (1992). User-Producer Relationships, National Systems of Innovation and Internationalization. In Rosenberg, N., Landau, R., and Mowery, D., editors, *Technology and the Wealth of Nations*. Stanford University Press, Stanford, CA.
- Maillat, D., Léchet, G., Lecoq, B., and Pfister, M. (1997). Comparative analysis of the structural development of milieux : the watch industry in the Swiss and French Jura Arc. In Ratti, R., Bramanti, A., and Gordon, R., editors, *The Dynamics of Innovative Regions : The GREMI Approach*, pages 109–137. Ashgate, Aldershot, Brookfield.
- Maillat, D., Quévit, M., and Senn, L., editors (1993). *Réseaux d'innovation et milieux innovateurs : un pari pour le développement régional*. GREMI-EDES, Neuchâtel.
- Makri, M., Hitt, M. A., and Lane, P. J. (2010). Complementary technologies, knowledge relatedness, and invention outcomes in high technology mergers and acquisitions. *Strategic Management Journal*, 31(6) :602–628.

- Malmberg, A. and Maskell, P. (2002). The elusive concept of localization economies : towards a knowledge-based theory of spatial clustering. *Environment and planning A*, 34(3) :429–449.
- Mantel, N. (1967). The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27(2) :209–220.
- Marshall, A. (1890). *Principles of Economics*. Macmillan, Londres.
- Martin, R. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*, 12(1) :1–32.
- Martin, R. and Moodysson, J. (2011). Innovation in symbolic industries : The geography and organization of knowledge sourcing. *European Planning Studies*, 19(7) :1183–1203.
- Martin, R. and Moodysson, J. (2013). Comparing knowledge bases : on the geography and organization of knowledge sourcing in the regional innovation system of Scania, Sweden. *European Urban and Regional Studies*, 20(2) :170–187.
- Martin, R. and Simmie, J. (2008). Path dependence and local innovation systems in city-regions. *Innovation*, 10(2-3) :183–196.
- Martin, R. and Sunley, P. (2006). Path dependence and regional economic evolution. *Journal of economic geography*, 6(4) :395–437.
- Martin, S., Brown, W. M., Klavans, R., and Boyack, K. W. (2011). OpenOrd : An open-source toolbox for large graph layout. In *Visualization and Data Analysis*, number 786806.
- Marwell, G. and Oliver, P. (1993). *The critical mass in collective action*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Maskell, P. and Malmberg, A. (1999). Localised learning and industrial competitiveness. *Cambridge Journal of Economics*, 23(2) :167–185.
- McPherson, J. M., Popielarz, P. A., and Drobnic, S. (1992). Social networks and organizational dynamics. *American Sociological Review*, pages 153–170.
- Mitchell, M. (2006). Complex systems : Network thinking. *Artificial Intelligence*, 170(18) :1194–1212.
- Moodysson, J. (2008). Principles and practices of knowledge creation : On the organization of “buzz” and “pipelines” in life science communities. *Economic Geography*, 84(4) :449–469.

- Moodysson, J., Coenen, L., and Asheim, B. (2008). Explaining spatial patterns of innovation : analytical and synthetic modes of knowledge creation in the Medicon Valley life-science cluster. *Environment and planning A*, 40(5) :1040–1056.
- Narula, R. and Zanfei, A. (2004). Globalization of innovation : The role of multinational enterprises. In Fagerberg, J., Mowery, D., and Nelson, R., editors, *The Oxford Handbook of Innovation*, pages 318–347. Oxford University Press, Oxford.
- Neal, Z. (2011). Differentiating Centrality and Power in the World City Network. *Urban Studies*, 48(13) :2733–2748.
- Neffke, F. (2009). *Productive places : The influence of technological change and relatedness on agglomeration externalities*. PhD thesis, Utrecht University, Utrecht.
- Neffke, F., Henning, M., and Boschma, R. (2011). How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. *Economic Geography*, 87(3) :237–265.
- Nooteboom, B. (2000). *Learning and innovation in organizations and economies*. Oxford University Press, Oxford.
- Nooteboom, B., Van Haverbeke, W., Duysters, G., Gilsing, V., and Van den Oord, A. (2007). Optimal cognitive distance and absorptive capacity. *Research policy*, 36(7) :1016–1034.
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ohlin, B. (1933). *Inter-regional and International Trade*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- O'malley, E. and O'gorman, C. (2001). Competitive advantage in the Irish indigenous software industry and the role of inward foreign direct investment. *European Planning Studies*, 9(3) :303–321.
- Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (2017). *Classification internationale des brevets*.
- O'gorman, C. and Kautonen, M. (2004). Policies to promote new knowledge-intensive industrial agglomerations. *Entrepreneurship & Regional Development*, 16(6) :459–479.
- Padgett, J. F. and Powell, W. W. (2012). *The emergence of organizations and markets*. Princeton University Press, Princeton.

- Page, L., Brin, S., Motwani, R., and Winograd, T. (1999). The PageRank citation ranking : Bringing order to the web. Technical report, Stanford InfoLab, Stanford, CA.
- Partha, D. and David, P. A. (1994). Toward a new economics of science. *Research policy*, 23(5) :487–521.
- Pfeffer, J. and Salancik, G. R. (2003). *The external control of organizations : A resource dependence perspective*. Stanford University Press, Berkeley.
- Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*. University of Chicago Press, Chicago.
- Pumain, D. (2006). Villes et systèmes de villes dans l'économie. *Revue d'économie financière*, pages 29–46.
- Quatraro, F. (2010). Knowledge coherence, variety and economic growth : Manufacturing evidence from Italian regions. *Research Policy*, 39(10) :1289–1302.
- Rallet, A. (1993). Choix de proximité et processus d'innovation technologique. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, (3) :365–386.
- Rallet, A. and Torre, A. (1998). On geography and technology : The case of proximity relations in localized innovation networks. In Steiner, M., editor, *Clusters and Regional Specialisation*. Pion, Londres.
- Rauch, J. E. (1993). Productivity gains from geographic concentration of human capital : evidence from the cities. *Journal of urban economics*, 34(3) :380–400.
- Rigby, D. L. (2015). Technological Relatedness and Knowledge Space : Entry and Exit of US Cities from Patent Classes. *Regional Studies*, 49(11) :1922–1937.
- Rosenberg, N. and Frischtak, C. R. (1983). Long waves and economic growth : a critical appraisal. *The American Economic Review*, 73(2) :146–151.
- Rozenblat, C. (2010). Opening the black box of agglomeration economies for measuring cities' competitiveness through international firm networks. *Urban Studies*, 47(13) :2841–2865.
- Rozenblat, C. and Pumain, D. (2007). Firm linkages, innovation and the evolution of urban systems. In Taylor, P. J., Derudder, B., Saey, P., and Witlox, F., editors, *Cities in Globalization : Practices, Policies, Theories*. Routledge, Londres.
- Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage : Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Harvard University Press, Cambridge.

- Schiffauerova, A. and Beaudry, C. (2012). Collaboration spaces in Canadian biotechnology : A search for gatekeepers. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(2) :281–306.
- Schumpeter, J. (1942). Creative destruction. *Capitalism, socialism and democracy*, 825.
- Sedita, R., De Noni, I., Apa, R., and Orsi, L. (2016). Measuring how the knowledge space shapes the technological progress of European regions. Technical report, Utrecht University, Section of Economic Geography.
- Snijders (2008). Transitivity and Triads. *Conférence à l'Université d'Oxford*.
- Sternberg, R. (2000). Innovation networks and regional development—evidence from the European Regional Innovation Survey (ERIS) : theoretical concepts, methodological approach, empirical basis and introduction to the theme issue. *European Planning Studies*, 8(4) :389–407.
- Storper, M. and Venables, A. J. (2004). Buzz : face-to-face contact and the urban economy. *Journal of economic geography*, 4(4) :351–370.
- Taylor, P. J. (2004). *World city network : a global urban analysis*. Routledge, Londres.
- Ter Wal, A. L. J. (2014). The dynamics of the inventor network in German biotechnology : geographic proximity versus triadic closure. *Journal of Economic Geography*, 14(3) :589–620.
- Todtling, F. and Trippl, M. (2004). Like phoenix from the ashes ? The renewal of clusters in old industrial areas. *Urban Studies*, 41(5-6) :1175–1195.
- Torre, A. and Gilly, J.-P. (2000). On the analytical dimension of proximity dynamics. *Regional studies*, 34(2) :169–180.
- Torre, A. and Rallet, A. (2005). Proximity and localization. *Regional studies*, 39(1) :47–59.
- Tortoriello, M. and Krackhardt, D. (2010). Activating cross-boundary knowledge : The role of Simmelian ties in the generation of innovations. *Academy of Management Journal*, 53(1) :167–181.
- Trippl, M. and Otto, A. (2009). How to turn the fate of old industrial areas : a comparison of cluster-based renewal processes in Styria and the Saarland. *Environment and Planning A*, 41(5) :1217–1233.

- Tödttling, F. and Trippel, M. (2012). Transformation of regional innovation systems : From old legacies towards new development paths. In *ERSA conference papers*, Bratislava. European Regional Science Association.
- Ullman, E. L. (1954). Geography as spatial interaction. In *Interregional Linkages (Proceedings of the Western Committee on Regional Economic Analysis)*, pages 63–71. Berkeley University Presse, Berkeley.
- UrbaLyon (2015). Lexique métropolitain des territoires lyonnais. Technical report, UrbaLyon.
- Uzzi, B. (1997). Social structure and competition in interfirm networks : The paradox of embeddedness. *Administrative science quarterly*, pages 35–67.
- Watts, D. J. and Strogatz, S. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684) :440–442.
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice : Learning, meaning, and identity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wenger, E. C. and Snyder, W. M. (2000). Communities of practice : The organizational frontier. *Harvard Business Review*, 78(1) :139–146.
- Zaheer, A. and Bell, G. G. (2005). Benefiting from network position : firm capabilities, structural holes, and performance. *Strategic management journal*, 26(9) :809–825.
- Zaheer, A., McEvily, B., and Perrone, V. (1998). Does trust matter ? Exploring the effects of interorganizational and interpersonal trust on performance. *Organization science*, 9(2) :141–159.
- Zimmermann, J.-B. (2002). « Grappes d'entreprises » et « petits mondes ». *Revue économique*, 53(3) :517–524.
- Zucker, L. G., Darby, M. R., and Brewer, M. B. (1996). Collaboration Structure and Innovation Dilemmas in Biotechnology. In Kramer, R., editor, *Trust in Organizations*, pages 90–113. Sage, Thousand Oaks.
- Zukin, S. and DiMaggio, P. (1990). *Structures of capital : The social organization of the economy*. Cambridge University Press, Cambridge.